

Analisis Faktor Penyebab Waste Besi dan Mitigasi pada Proyek Toll KLBM (Krian Legundi Bunder Manyar)

Muhammad Alvan Rizki^{1*}, Sri Wiwoho Mudjanarko² dan Muslimin Abdulrahim³

^{1,2,3} Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

^{1,2,3}E-mail: alvanrizki90@gmail.com

Abstract

*In general, iron material is a support of structural buildings. Waste iron material is waste that has a high enough value in a construction that is of particular concern in current construction projects. Iron waste material can be defined as material, which does not add value or progress to construction projects. So that more waste can make a loss project. Many factors cause iron material waste in the KLBM Toll project, both internal and external factors. The population of this research is the KLBM Toll Project. Research data obtained through the distribution of questionnaires and interviews with KLBM Toll construction practitioners using Google Form. Data taken from 11 respondents are probability, impact, and mitigation data. Data processing uses Fault Tree Analysis, Expected Monetary Value, and Mitigation Decision. The largest Expected Monetary Value results show the biggest factor causing iron material waste. The results showed the three biggest causes of iron material waste based on the EMV value were the construction had already taken place, the owner made a design change, the planner was less competent, and the iron material was lost / vandalism. The biggest cause category is in terms of design. Mitigation that can be done is to review the design and structural drawings with value engineering, improve communication in design planning, hold regular meetings between the owner and contractor, check material regularly, protect iron material properly for example installing fences in the area of iron stock, and provide additional security like cctv. **Keywords:** iron waste material, KLBM Toll, google form, fault tree analysis, expexted monetary value, mitigation decision*

Abstrak

Secara umum, material besi merupakan penunjang dari bangunan struktur. Waste material besi adalah waste yang mempunyai nilai cukup tinggi dalam suatu konstruksi sehingga menjadi perhatian khusus dalam proyek konstruksi saat ini. Waste material besi dapat didefinisikan sebagai material, yang tidak menambah angka nilai atau kemajuan progress untuk proyek konstruksi. Sehingga semakin banyak waste maka dapat membuat suatu proyek rugi. Banyak beberapa faktor yang menyebabkan waste material besi dalam proyek Toll KLBM, baik faktor internal maupun eksternal. Populasi penelitian ini adalah proyek Toll KLBM. Data penelitian diperoleh melalui pembagian kuisisioner dan wawancara pada para pelaku konstruksi Toll KLBM dengan menggunakan Google Form. Data yang diambil dari 11 responden adalah data probabilitas, dampak, dan mitigasi. Proses pengolahan data menggunakan Fault Tree Analysis, Expected Monetary Value, dan Decision Mitigasi. Hasil Expected Monetary Value terbesar menunjukkan faktor terbesar penyebab waste material besi. Hasil penelitian menunjukkan tiga terbesar penyebab waste material besi berdasarkan nilai EMV adalah konstruksi sudah berjalan owner melakukan perubahan desain, perencana kurang kompeten, dan material besi hilang/vandalisme. Kategori penyebab terbesar adalah dari segi desain. Mitigasi yang dapat dilakukan adalah mereview desain dan gambar strutur dengan rekayasa nilai, meningkatkan komunikasi dalam perencanaan desain, mengadakan rapat rutin antara owner dan kontraktor, melakukan pengecekan material secara rutin, melindungi material besi dengan benar contohnya pemasangan pagar pada area stok besi, dan memberikan tambahan keamanan seperti cctv.

*Corresponding Author's email: alvanrizki90@gmail.com

Kata kunci: *waste material besi, Toll KLBM, google form, fault tree analysis, expected monetary value, decision mitigasi*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Biaya yang berlebih menjadi salah satu resiko yang dapat mengganggu proses berjalannya proyek konstruksi. Dimana biaya berlebih tersebut dapat disebabkan oleh waste material. Material besi dalam sebuah proyek konstruksi sangat rentan pemborosan akibat salah penanganan material, sehingga menjadikan material besi tersebut menjadi waste atau tidak terpakai. Penelitian yang dilakukan oleh Formoso et al. (2002), mendapatkan material besi beton menempati urutan pertama dalam persentase sisa material yaitu 20% dari total biaya sisa material. Sedangkan hasil dari penelitian dilakukan oleh Intan et al. (2005) didapatkan material besi beton merupakan material dengan nilai sisa terbesar yaitu 34.68% dari total biaya sisa material. Sehingga perlu adanya analisis faktor penyebab *waste* besi dan mitigasi pada proyek Toll KLBM.

Penelitian terdahulu mengungkapkan terdapat banyak faktor yang dapat menghasilkan *waste* di dalam sebuah proyek baik berupa *waste* berbentuk fisik maupun *waste* yang berbentuk non-fisik. Berbagai faktor tersebut berhubungan dengan desain, pekerja proyek, pengadaan proyek, pengawasan, hingga faktor eksternal seperti adanya perusakan/pencurian oleh pihak luar dan juga faktor cuaca yang juga cukup menentukan berjalannya progres proyek.

Meninjau adanya potensi *waste* yang ada dan dapat menjadi berlebih, tentunya kontraktor juga harus menyiapkan langkah – langkah apa yang harus dilakukan agar potensi itu tidak berkembang menjadi suatu kejadian yang sebenarnya. Antisipasi ini merupakan suatu usaha mitigasi resiko yang terjadi dalam sebuah proyek. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi faktor penyebab yang paling dominan untuk *waste* material besi pada perusahaan yang diteliti, serta mitigasi atas akar penyebab tersebut.

Pengambilan sampel pada populasi dilakukan dengan teknik purposive sampling dan untuk populasinya adalah proyek Toll KLBM. Penelitian ini menggunakan kuisisioner dan wawancara mengenai faktor *waste material* besi dengan aplikasi *Google Form*. Data yang diambil adalah probabilitas, dampak, dan mitigasi penyebab *waste material* besi. Proses pengolahan data menggunakan *Fault Tree Analysis, Expected Monetary Value, dan Decision Mitigasi*.

Hasil penelitian menunjukkan tiga penyebab *waste* besi terbesar dari nilai EMV. Dan didapatkan *decision* mitigasi untuk penyebab *waste* besi.

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis faktor apa yang menyebabkan terjadinya *waste* besi yang terjadi pada proyek Toll KLBM.

2. Menganalisis mitigasi yang dilakukan untuk mengurangi waste besi yang terjadi pada proyek Toll KLBM.

Tinjauan Pustaka

Menurut Illingworth (1998), sisa dari material konstruksi didefinisikan sebagai sesuatu hal yang sifatnya berlebih dari yang direncanakan baik itu berupa hasil pekerjaan maupun material konstruksi yang tersisa, rusak, ataupun hilang sehingga tidak dapat digunakan lagi sesuai rencana awal. Material besi merupakan salah satu komponen penting yang memiliki pengaruh cukup besar dengan biaya suatu proyek, maka dengan adanya sisa material konstruksi yang cukup besar dapat dipastikan terjadi pembengkakan pada sektor pendanaan.

Dalam tindakan pelaksanaan, konstruksi membutuhkan sumber daya, antara lain sumber daya tenaga kerja, material, alat dan uang. Sumber daya tersebut perlu dikelola penggunaannya agar mencapai efisiensi yang sesuai dengan rencana yang tinggi dalam rangka mencapai rencana yang telah dibuat. Tujuan dari pengelolaan sumber daya adalah dalam rangka membatasi/ mengendalikan biaya proyek, yang pada intinya adalah pengendalian produktivitas dari sumber daya, serta pengendalian dari sumber daya uang Graham dan Smithers (1996), mengatakan bahwa *waste* pada konstruksi dapat terjadi pada setiap fase proyek berlangsung:

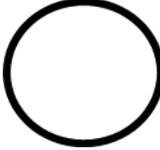
- a. Desain (kesalahan rencana, kesalahan detail dan perubahan desain);
- b. Pengadaan (kesalahan pengiriman dan kesalahan pemesanan);
- c. Penanganan material (penyimpanan yang tidak benar, kerusakan dan penanganan yang tidak tepat);
- d. Operasi (kesalahan manusia, pergantian orang, tenaga kerja, kesalahan peralatan, kecelakaan dan cuaca);
- e. Residu (sisa dan *unreclaimable non-consumables*); dan
- f. Lainnya (pencurian, pengacau dan tindakan klien).

Fault Tree Analysis mengidentifikasi hubungan antara faktor penyebab dan ditampilkan dalam bentuk pohon kesalahan yang melibatkan gerbang logika sederhana. Gerbang logika ini berupa fungsi AND atau OR. Gerbang logika AND menunjukkan bahwa semua kejadian dasar harus terjadi sebagai syarat terjadinya kejadian di tingkatan atasnya. Gerbang logika OR menunjukkan bahwa apabila salah satu saja kejadian dasar terjadi, maka kejadian satu tingkat di atasnya pasti terjadi (Danaher, 2000).

Tabel 1 Simbol *Fault Tree Analysis*

Istilah	Keterangan	Simbol
<i>Top Event</i>	Kejadian yang dikehendaki pada "puncak" yang akan diteliti lebih lanjut ke arah kejadian dasar lainnya dengan menggunakan gerbang logika	

Tabel 2 Simbol *Fault Tree Analysis* (Lanjutan)

Istilah	Keterangan	Simbol
	untuk menentukan penyebab kegagalan	
<i>Logic Event</i>	Hubungan secara logika antara input dinyatakan dalam AND dan OR	
<i>Transferred Event</i>	Segitiga yang digunakan simbol transfer. Simbol ini menunjukkan bahwa uraian lanjutan kejadian berada di halaman ini.	
<i>Undeveloped Event</i>	Kejadian dasar (<i>Basic Event</i>) yang tidak akan dikembangkan lebih lanjut karena tidak tersedianya informasi	
<i>Basic Event</i>	Kejadian dasar yang berada pada level paling bawah sebagai penyebab dasar yang memiliki informasi sehingga tidak perlu dilakukan analisa lebih lanjut.	

Dalam perhitungan probabilitas pada fault tree, berlaku rumus berikut untuk melakukan perhitungan dengan pendekatan numerik yang bersifat bottom-up approach. Pendekatan numerik ini berawal dari level hirarki yang paling rendah dan mengkombinasikan semua probabilitas dari event yang ada pada level ini sesuai dengan logic gate-nya. Kombinasi probabilitas ini akan memberikan nilai probabilitas untuk intermediate event pada level hirarki yang lebih tinggi.

Perhitungan fungsi AND dengan dua kejadian majemuk berlaku rumus (Sudaryono,2012):

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$

Untuk fungsi AND dengan tiga kejadian majemuk digunakan rumus:

$$P(A \cap B \cap C) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C)$$

Untuk fungsi OR dengan dua kejadian majemuk berlaku rumus:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - (A) \cdot P(B)$$

$$P(A \cup B) = 1 - (1 - P(A)) \cdot (1 - P(B))$$

Untuk fungsi OR dengan tiga kejadian majemuk berlaku rumus:

$$P(A \cup B \cup C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(A \cap B) - P(A \cap C) - P(B \cap C) + P(A \cap B \cap C)$$

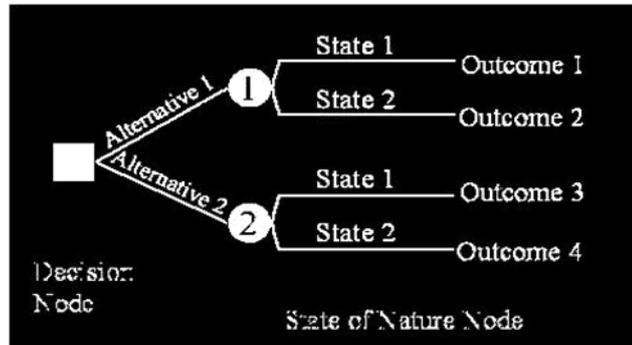
Dengan:

$P(A)$ = peluang kejadian A

$P(B)$ = peluang kejadian B

$P(C)$ = peluang kejadian C

Diagram Keputusan adalah sebuah grafik yang menggambarkan proses pengambilan keputusan yang mengandung solusi alternatif, state of nature dan probabilitasnya serta *outcome* dari masing-masing alternatif (Heizer, 2001). Secara sederhana, Diagram Keputusan dapat digambarkan seperti berikut:



Gambar 1 Diagram Keputusan

Expected monetary value didapat sebagai hasil dari *event tree analysis* yang sudah dihitung probabilitasnya dan nilai dampaknya. Hasil perkalian itu dapat disebut sebagai *Expected Risk Magnitude*. EMV juga dapat digunakan pada diagram keputusan sebagai pertimbangan untuk memilih suatu alternatif. Pada prinsipnya, EMV pada diagram keputusan dan *event tree analysis* sama perhitungannya. Persamaan untuk menghitung EMV adalah sebagai berikut:

$$EMV(A_i) = \sum_{i=1}^N V_i \times P(V_i)$$

Dengan:

- A_i = alternatif i
- N = jumlah *state of nature*
- V_i = probabilitas *payoff*

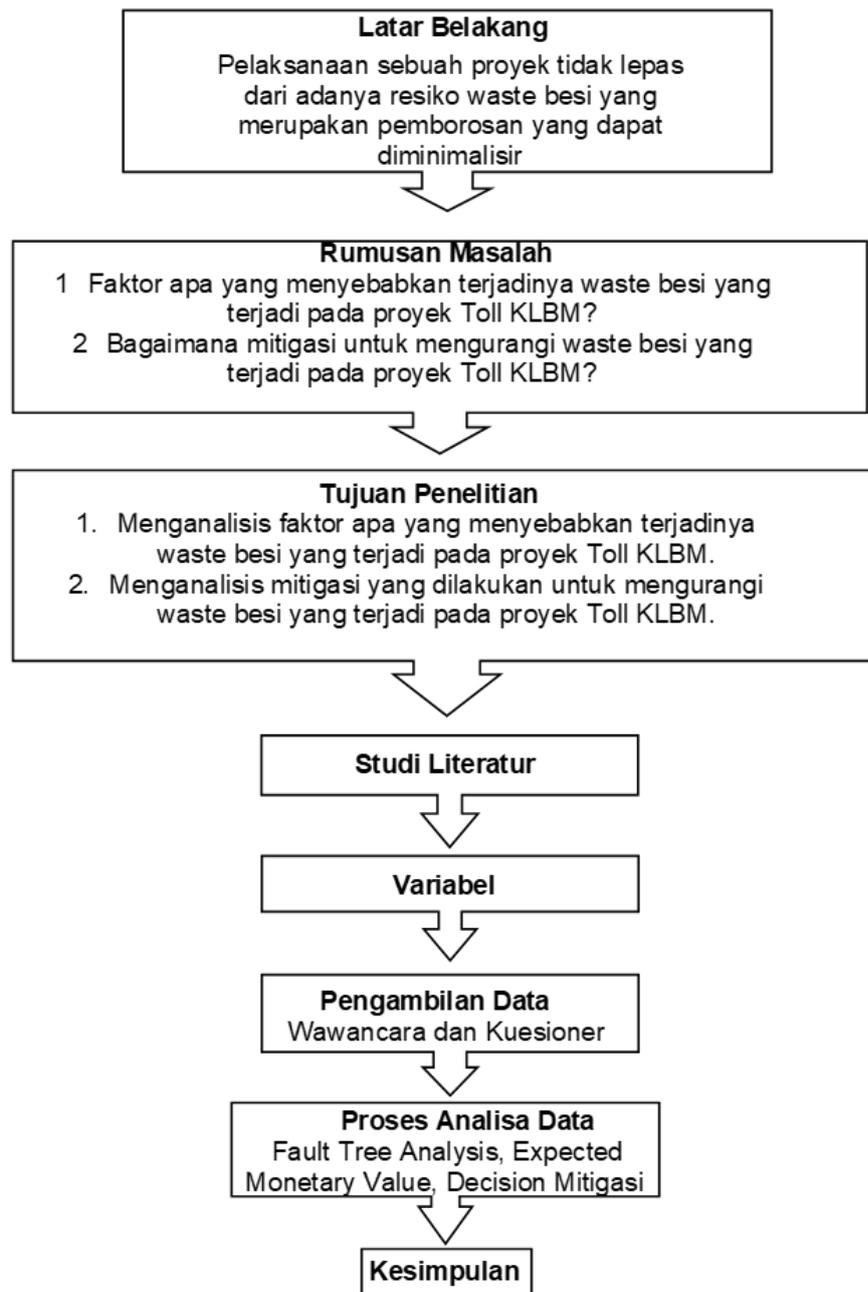
2. METODE PENELITIAN

Tabel 3 Variabel Penelitian

No	Variabel	Sumber
1	Owner melakukan perubahan desain Ketika konstruksi sudah berjalan	Alwi dkk (2002)
2	Perencana kurang kompeten	Alwi dkk (2002)
3	Terjadi miskomunikasi dalam perencanaan desain	Wawancara <i>Expert</i> (2017)
4	Tempat material kurang baik	Nagapan dkk (2012)
5	Kesalahan penanganan material	Nagapan dkk (2012)
6	Material tidak dilindungi dengan benar	Nagapan dkk (2012)
7	Pekerja tidak <i>care</i> atau memiliki sifat yang buruk	Wawancara <i>Expert</i> (2017)
8	Sering terjadi pergantian pekerja	Wawancara <i>Expert</i> (2017)
9	Pekerja kurang diseleksi dengan tepat	Wawancara <i>Expert</i> (2017)

Tabel 4 Variabel Penelitian (Lanjutan)

No	Variabel	Sumber
10	Pekerja kurang pelatihan	Nagapan dkk (2012)
11	Perhitungan kurang akurat menyebabkan salah hitung volume	Wawancara <i>Expert</i> (2017)
12	Miskomunikasi antar bagian dalam pengadaan	Wawancara <i>Expert</i> (2017)
13	Material terbuang/tercecer saat transportasi	Abdul Rahman dkk (2006)
14	Material terbuang karena vandalisme atau pencurian	Abdul Rahman dkk (2006)



Gambar 2 Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

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 5 Profil Responden Kuesioner

No	Nama	Jabatan
1	Vickara Dolly	<i>Stie Operasional Manager</i> (Kepala Lapangan)
2	Isnain Fuadhy	<i>Site Contract Administration & Risk Manager</i> (Kasie Adkont)
3	Nadya	<i>Site Contract Administration & Risk Officer</i> (Staff Adkont)
4	Recky	<i>Site Procurement Logistic & Equipment Manager</i> (Kasie LogLat)
5	Nanto	<i>Site Procurement Logistic & Equipment Officer</i> (Staff LogLat)
6	Ratih	<i>Site Procurement Logistic & Equipment Officer</i> (Staff LogLat)
7	M. Hero Setiawan	<i>Public Relations</i> (Humas)
8	Rahmad	<i>Site Engineering Officer</i> (Staff Teknik)
9	Nur Rochim	<i>Site Engineering Officer</i> (Staff Teknik)
10	Ivan David	<i>Site Engineering Officer</i> (Staff Teknik)
11	Abdul Halim	<i>Site Engineering Officer</i> (Staff Teknik)

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 6 Hasil Survei Responden

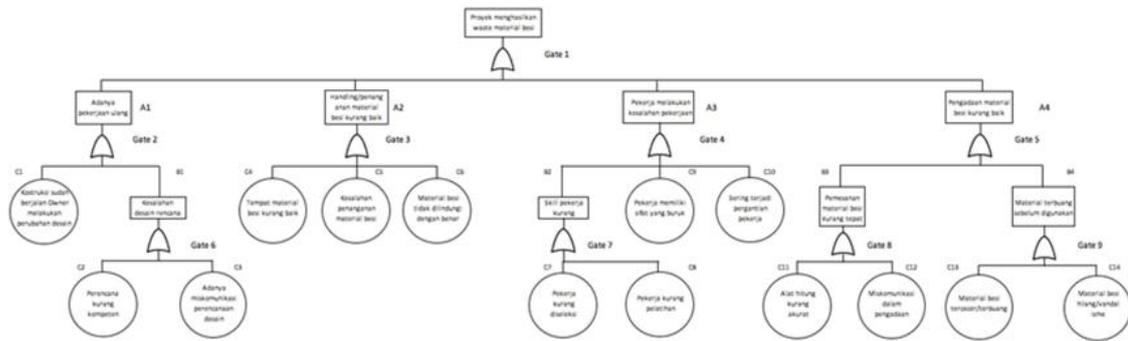
No	Variabel	Kategori	Responden											%
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Konstruksi sudah berjalan Owner melakukan perubahan desain	Desain	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓		✓	72.73%
2	Perencana kurang kompeten		✓					✓	✓		✓	✓	✓	54.55%
3	Adanya miskomunikasi perencanaan desain		✓	✓					✓				✓	36.36%
4	Tempat material besi kurang laik	Material	✓	✓	✓		✓						36.36%	
5	Kesalahan penanganan material besi		✓	✓	✓	✓				✓			45.45%	

Tabel 7 Hasil Survei Responden (Lanjutan)

No	Variabel	Kategori	Responden											%
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
6	Material besi tidak dilindungi dengan benar	Material			✓		✓						✓	27.27%
7	Pekerja memiliki sifat buruk													0%
8	Sering terjadi pergantian pekerja				✓		✓							18.18%
9	Pekerja kurang diseleksi	Pekerja							✓					9.09%
10	Pekerja kurang pelatihan		✓			✓	✓	✓						36.36%
11	Alat hitung kurang akurat		✓	✓	✓				✓					36.36%
12	Miskomunikasi dalam pengadaan				✓			✓						18.18%
13	Material besi tercecer/terbuang	Pengadaan			✓							✓		18.18%
14	Material besi hilang/vandalisme		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	90.91%

Tanda “✓” menunjukkan bahwa responden menyetujui faktor penyebab waste tersebut terjadi pada proyek Toll KLB. Dari survei pendahuluan menunjukkan 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 perencana kurang kompeten.

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 3 Pohon Faktor Hasil Analisis Survei

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.

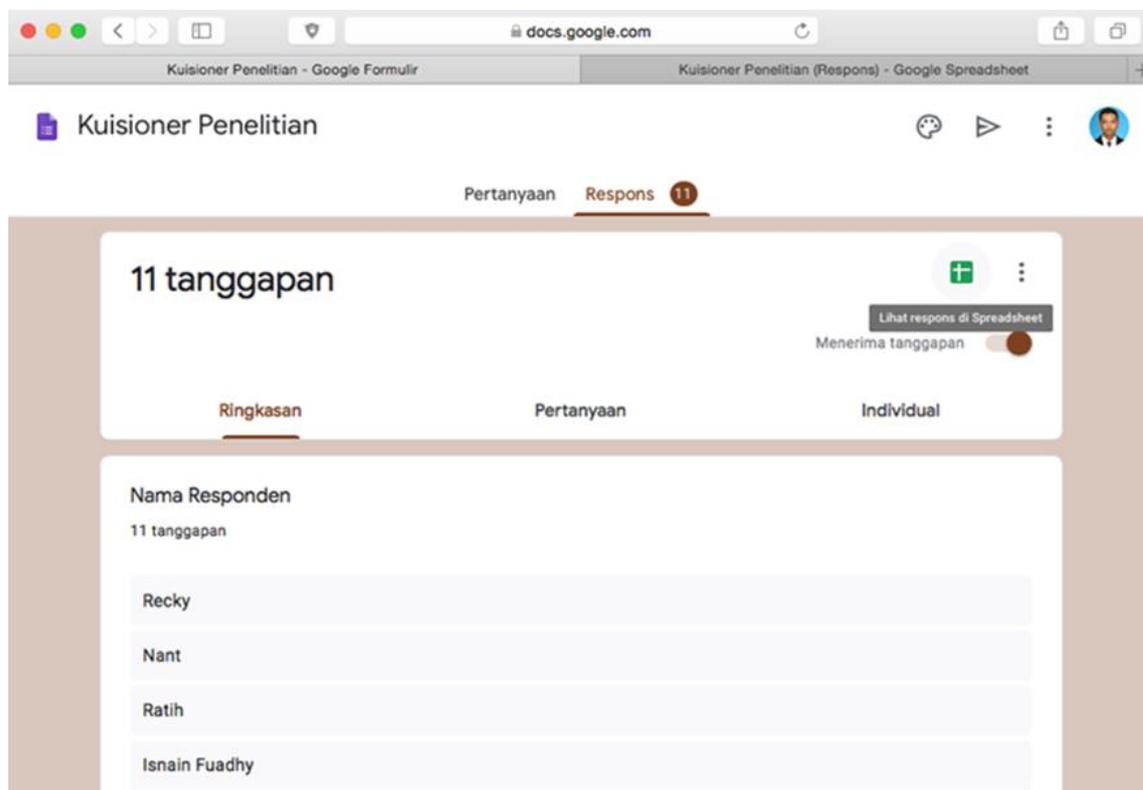
Faktor yang keempat adalah mengenai pengadaan. Proses pengadaan mulai dari pemesanan hingga material besi datang juga mempengaruhi adanya *waste* proyek. Pemesanan yang berlebih akan menghasilkan material besi yang tidak terpakai. Pemesanan yang kurang akurat juga menyebabkan adanya *waste*. Faktor penyebab *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*.

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 Excel* kita gunakan *tool sort* untuk mendapatkan urutan responden dan juga urutan *basic event* sesuai *fault tree*, dengan data sebagai berikut:



Gambar 4 Google Form

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

Gambar 5 Pengolahan Probabilitas Menggunakan *Spreadsheet*

KODE	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	
R	4	4	4	4	5	3	3	3	2	4	4	3	3	5	
E	4	3	4	4	4	3	3	2	3	3	4	2	2	4	
S	5	3	3	5	4	5	3	4	3	3	5	5	5	5	
S	4	1	1	3	4	3	2	5	3	4	3	2	1	4	
P	3	2	2	4	3	4	3	3	3	4	2	4	1	5	
O	5	5	3	3	3	3	2	3	4	5	3	3	3	5	
N	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	5	
D	2	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	4	
E	5	5	2	3	4	3	2	3	2	2	2	2	4	4	
N	2	4	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	
TOTAL C	44	39	32	36	37	34	27	32	28	33	33	29	30	47	
PROBABILITAS C	0.38	0.34	0.28	0.34	0.35	0.32	0.23	0.27	0.23	0.28	0.24	0.21	0.22	0.34	
TOTAL A	115			107			120			139					

Gambar 6 Pengolahan Probabilitas Menggunakan *Microsoft Excel*

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

Tabel 8 Hasil *Basic Event* Setelah Diolah dengan *Microsoft Excel*

Kode	Penyebab	Hasil
C1	Konstruksi sudah berjalan <i>owner</i> melakukan perubahan desain	0.38
C2	Perencana kurang kompeten	0.34
C3	Adanya miskomunikasi	0.28

Tabel 9 Hasil *Basic Event* Setelah Diolah dengan *Microsoft Excel* (Lanjutan)

Kode	Penyebab	Hasil
C4	Tempat material besi kurang laik	0.34
C5	Kesalahan penanganan material besi	0.35
C6	Material besi tidak dilindungi dengan benar	0.32
C7	Pekerja memiliki sifat buruk	0.23
C8	Sering terjadi pergantian pekerja	0.27
C9	Pekerja kurang diseleksi	0.23
C10	Pekerja kurang pelatihan	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

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.

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

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

$$P(B1) = 1 - (1 - P(0,34)) \cdot (1 - P(0,28))$$

$$P(B1) = 0,52$$

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

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

$$P(A1) = 1 - (1 - P(0,38)) \cdot (1 - P(0,52))$$

$$P(A1) = 0,702$$

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.

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

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

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

$$P(A2) = 0,34 + 0,35 + 0,32 - 0,34 \times 0,35 - 0,34 \times 0,32 - 0,35 \times 0,32 + 0,34 \times 0,35 \times 0,32$$

$$P(A2) = 0,708$$

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.

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

$$P(B2) = 1 - (1 - P(C7)) \cdot (1 - P(C8))$$

$$P(B2) = 1 - (1 - 0,23) \cdot (1 - 0,27)$$

$$P(B2) = 0,43$$

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

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

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

$$P(A3) = 0,43 + 0,23 + 0,28 - 0,43 \times 0,23 - 0,43 \times 0,28 - 0,23 \times 0,28 + 0,43 \times 0,23 \times 0,28$$

$$P(A3) = 0,68$$

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.

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

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

$$P(B3) = 1 - (1 - 0,24) \cdot (1 - 0,21)$$

$$P(B3) = 0,39$$

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

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

$$P(B4) = 1 - (1 - 0,22) \cdot (1 - 0,34)$$

$$P(B4) = 0,49$$

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

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

$$P(A4) = 1 - (1 - 0,39) \cdot (1 - 0,49)$$

$$P(A4) = 0,69$$

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.

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 10 Data Dampak Kualitatif dan Kuantitatif

Kategori	Penyebab	Dampak	
		Kualitatif	Kuantitatif
Desain	Konstruksi sudah berjalan Owner melakukan perubahan desain	– <i>Schedule</i> pelaksanaan menjadi mundur – Pergantian dan penambahan material besi – Adanya pekerjaan pembongkaran/ <i>rework</i>	11.03%
	Perencana kurang kompeten	– <i>Review</i> ulang desain – Durasi pekerjaan mundur	5.34%
	Adanya miskomunikasi perencanaan desain	– Terjadi kesalahan dilapangan – Proses shopdrawing terhambat	3.74%
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%

Tabel 11 Data Dampak Kualitatif dan Kuantitatif (Lanjutan)

Kategori	Penyebab	Dampak	
		Kualitatif	Kuantitatif
Pengadaan	Sering terjadi pergantian pekerja	– Kualitas tidak merata	2.97%
	Alat hitung kurang akurat	– Boros terhadap biaya	2.61%
	Miskomunikasi dalam pengadaan	– Salah pesan dalam kualitas maupun kuantitas	3.67%
	Material besi ter- cecer/terbuang	– Material besi tidak bisa terpakai	2.22%
	Material besi hi- lang/vandalism	– Penambahan biaya dan waktu	2.33%

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 12 Hasil *Expected Monetary Value* dengan Nilai Probabilitas dan Nilai Dampak dari Setiap Kejadian Dasa

Kategori	Kode	Penyebab	Nilai Probabilitas	Nilai Dampak	<i>Expected Monetary Value</i>
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%

Tabel 13 Hasil *Expected Monetary Value* dengan Nilai Probabilitas dan Nilai Dampak dari Setiap Kejadian Dasa (Lanjutan)

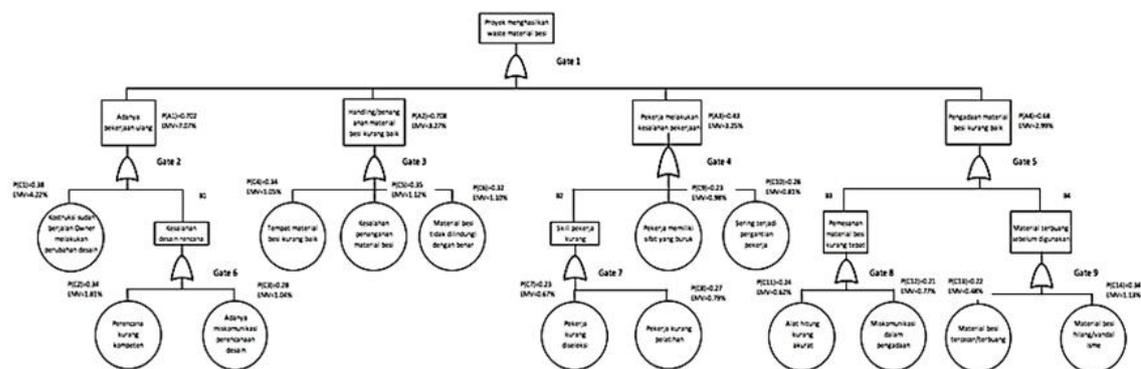
Kategori	Kode	Penyebab	Nilai Probabilitas	Nilai Dampak	<i>Expected Monetary Value</i>
	C13	Material besi tercecer/terbuang	0.22	2.22%	0.48%
	C14	Material besi hilang/vandalism	0.34	3.34%	1.13%

Adapun nilai EMV *intermediate event* ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 14 Nilai EMV *Intermediate Event*

Kategori	Kode	Variabel	Nilai Probabilitas	Nilai Dampak	<i>Expected Monetary Value</i>
Desain	A1	Adanya pekerjaan ulang <i>Handling/penanganan</i>	0.702	11.03%	7.07%
<i>Handling</i>	A2	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%

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.



Gambar 7 Bagan *Final Fault Tree*

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%.

Tabel 15 *Decision* Mitigasi yang Dipilih oleh 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%

Tabel 16 Faktor Terbesar Penyebab *Waste* Besi dan *Decision* Mitigasi pada Proyek Toll KLBM

Penyebab <i>Waste</i> Besi	<i>Decision</i> Mitigasi
Konstruksi sudah berjalan <i>Owner</i> 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

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

1. Tiga faktor dasar terbesar yang menjadi penyebab adanya waste pada proyek Toll KLBM berdasarkan nilai EMV adalah:
 - a. Konstruksi sudah berjalan owner melakukan perubahan desain
Faktor ini memiliki nilai probabilitas sebesar 0,38 dan memiliki nilai dampak sebesar 11,03% dari nilai proyek sehingga didapat EMV sebesar 4.22%.
 - b. Perencana kurang kompeten
Faktor ini memiliki nilai probabilitas sebesar 0,34 dan memiliki nilai dampak sebesar 5,34% dari nilai proyek sehingga didapat EMV sebesar 1.81%
 - c. Material besi hilang/vandalisme
Faktor ini memiliki nilai probabilitas sebesar 0,34 dan memiliki nilai dampak sebesar 3,34% dari nilai proyek sehingga didapat EMV sebesar 1,13%

Sedangkan dari segi kategori faktor penyebab *waste*, yang dominan terhadap adanya waste adalah dari segi desain, yakni adanya perubahan desain yang menyebabkan adanya pekerjaan ulang. Kategori desain memiliki nilai EMV lebih besar daripada kategori handling material, pekerja, dan pengadaan. Nilai

probabilitas kategori desain adalah 0,702 dengan nilai dampak terbesar adalah 11,03% sehingga didapat nilai EMV 7.07%.

2. *Decision* mitigasi yang dilakukan untuk meminimalisir terjadinya faktor penyebab *waste* antara lain:
 - a. Konstruksi sudah berjalan owner melakukan perubahan desain
Mitigasi yang dilakukan untuk meminimalisir resiko adalah mereview desain dan gambar struktur dengan rekayasa nilai.
 - b. Perencana kurang kompeten
Mitigasi yang dilakukan untuk meminimalisir resiko adalah meningkatkan komunikasi dalam perencanaan desain dan mengadakan rapat rutin antara owner dan kontraktor.
 - c. Material besi hilang/vandalisme
Mitigasi yang dilakukan untuk meminimalisir resiko adalah melakukan pengecekan material secara rutin, melindungi material besi dengan benar contohnya pemasangan pagar pada area stok besi, dan memberikan tambahan keamanan seperti cctv.

Saran

Untuk manajemen proyek KLBM disarankan untuk meminimalisir resiko konstruksi sudah berjalan owner melakukan perubahan desain dengan meriview desain dan gambar struktur dengan rekayasa nilai, kemudian perencana kurang kompeten dengan meningkatkan komunikasi dalam perencanaan desain dan mengadakan rapat rutin antara owner dan kontraktor, serta material besi yang hilang/vandalisme dengan pengecekan material secara rutin dan melindungi material besi dengan pagar dan tambahan cctv. Untuk penelitian selanjutnya pembahasan dapat mengacu pada material lain dan dengan memperoleh data yang lebih luas. Dan juga dapat menggunakan metode lain yang lebih variatif untuk mengolah data yang diperoleh.

REFERENSI

- Abdul-Rahman, H., Berawi, M.A., Berawi, A.R., Mohamed, O., Othman, M., dan Yahya, I.A., (2006), "*Delay Mitigation in the Malaysian Construction Industry*", *Journal of Construction Engineering and Management* © ASCE, hal. 125-133.
- Adewuyi, T., dan Otali, M., (2013), "*Evaluation of Causes of Construction Material Waste - Case of Rivers State, Nigeria*", *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management* Vol. 6, hal. 746-753.
- Alwi, S., (2002), "*Waste in the Indonesian Construction Projects*", *Creating a Sustainable Construction Industry in Developing Countries*, hal. 305-315.
- Alwi, S., Hampson, K., dan Mohammed, S., (2002), "*Non Value-Adding Activities in Australian Construction Project*", *International Conference on Advancement in Design, Construction, Construction Management and Maintenance of Building Structure*.

- Asiyanto, (2005), Manajemen Produksi untuk Jasa Konstruksi. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Begum, R.A., Siwar, C., Pereira, J.J., dan Jaafar, A.H. (2009), "*Attitude and Behavioral Factors in Waste Management in the Construction Industry of Malaysia*", *Journal of Resources, Conservation and Recycling, Elsevier*, 53(6), hal. 321-328.
- Bramantya F.P., (2018), "Analisis Faktor Penyebab dan Mitigasi Waste Pada Proyek Konstruksi Gedung Di Kota Surabaya
- Cahyo, W.N., (2008), "Pendekatan Simulasi *Monte Carlo* untuk Pemilihan Alternatif dengan *Decision Tree* pada nilai *Outcome* yang Probabilistik" *Teknoin*, Volume 13, Nomor 2, hal. 11-17.
- Comission, I.E. (2006). *International Standard* (2nd ed.). Geneva, Switzerland: IEC.
- Danaher, (2000), "*Using Fault Trees and Event Trees to Manage Risk*", Gibson Associates, hal. 1-11.
- Foo, L.C., Abdul-Rahman, I., Asmi, A., Nagapan, S., dan Khalid, K.I., (2013), "*Classification and Quantification of Construction Waste at Housing Project Site*", *International Journal of Zero Waste Generation*, Vol 1, hal. 1-4.
- Franklin Associates, (1998), *Characterization of Building related Construction an Demolition Debris in USA*, *Enviromental Protections Agency (EPA)*.
- Graham, P., dan Smithers, G., (1996), "*Construction Waste Minimisation for Australian Residential Development*", *Asia Pacific Building and Construction Management Journal*, Vol. 2, No. 1, hal. 14-19.
- Grimaldi, S., Hillson, D., dan Rafele, C., (2005), "*Understanding Project Risk Exposure Using the Two-Dimensional Risk Breakdown Matrix*", *PMI Global Congress Proceedings*.
- Guthrie, P., dan Mallet, H. (1995), "*Waste Minimisation and Recycling in Construction*", *A Review CIRIA Special Publication 122*.
- Hary, M., Wateno, O., Budi, W., dan Sapril, R., (2015), "*Factor Analysis of Delay Project MERR-IIC Road Construction at Surabaya Indonesia*"
- Heizer, J. dan Render, B. (2001), *Operations Management 6th Edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Illingworth, J. (1998). "*Waste in Construction Process*"
- Iriana, H. (2009), "Analisis Penanganan Material Waste pada Proyek Perumahan di Surabaya", Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah tahun 2009, hal. 147-154
- Jailoon, L., Poon, C.S., dan Chiang, Y.H. (2009), "*Quantifying the Waste Reduction Potential of Using Prefabrication in Building Construction in Hong Kong*", *Waste Management*, hal. 309-320.
- Lawton, T., Moore, P., Cox, K., dan Clark, J. (2002), "*The Gammon Skanska Construction System*", *Proceedings of the International Conference Advances in Building Technology*, Vol. 2, hal. 1073-1080.
- Nagapan, S., Rahman, I.A., dan Asmi, A. (2012), "*Factors Contributing to Physical and Non-Physical Waste*", *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*, 1, hal. 1-10.
- Osmani, M., Glass, J., dan Price, A. (2006), "*Architect and Contractor Attitudes to Waste Minimisation*", *Waste Resourses Management*, hal. 72.
- Poon, C., dan Jaillon, L. (2002), "*A Guide for Minimizing Construction and Demolition Waste at the Design Stage*"

- Poon, C., Jaillon, L., dan Yu, A. (2004). "*Reducing Building Waste at Construction Sites*", *Construction Management and Economy*, hal. 461-470.
- Skoyles, E.F. (1976), "Material Wastage: A Misuse of Resources", *Building Research and Practice*, hal. 232-242.
- Sri Wiwoho, M., Mayestino, M., Rasidi, N., Indrawan, dan Setiawan, I. (2017), "*Bamboo Waste as Part of The Aggregate Pavement the Way Green Infrastructure in The Future*"
- Sudaryono, (2012), *Statistika Probabilitas: Teori dan Aplikasi*, Yogyakarta: ANDI
- Tatum, C., Vanegas, J., dan Williams, J. (1986), "*Constructability Improvement Using Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation*", *Technical Report 297. Construction Industry Institute, Stanford, USA.*
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., dan Vigil, S.A. (1993), *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.