

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Material Waste

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.

Menurut Franklin (1998), material waste besi dalam suatu proyek konstruksi merupakan material yang tidak dapat digunakan sesuai fungsinya, sebagai hasil dari proses konstruksi, perbaikan, atau perubahan. Waste berupa material besi ini juga didefinisikan sebagai barang yang ada sebagai hasil produksi baik dari proses maupun suatu ketidaksengajaan yang tidak dapat langsung dipergunakan kembali tanpa adanya suatu perlakuan lagi. Definisi lain dari waste berbentuk material besi adalah sesuatu sumber daya material yang jumlahnya berlebih atau telah digunakan, termasuk yang dapat digunakan kembali, dapat didaur ulang, dapat dikembalikan ke supplier, atau dipindahtanggankan ke tempat yang dapat digunakan kembali oleh orang lain.

2.2 Material Waste pada Konstruksi

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).

Seiring dengan perkembangan ekonomi, ada peningkatan volume kegiatan konstruksi dan pembongkaran. Jumlah konstruksi yang dihasilkan meningkat dan pembongkaran waste menyebabkan masalah serius baik lokal dan global.

Menurut Nagapan dkk (2012), waste konstruksi adalah sesuatu yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dalam industri konstruksi yang tidak memiliki nilai. Waste konstruksi dapat dikelompokkan menjadi dua berdasarkan wujudnya, yaitu :

1. Waste Fisik

Waste fisik yang di dapat dari konstruksi didefinisikan sebagai material yang berasal dari aktivitas konstruksi, ekskavasi, renovasi, pembongkaran seperti pecahan beton, besi, kayu, material plastik, serta kerikil dan pasir.

2. Waste Non-fisik

Waste juga dapat diartikan sebagai kegiatan yang tidak menghasilkan nilai provit. Jenis waste ini merupakan kegiatan yang menggunakan jasa yang menghabiskan sumber daya tetapi tidak menghasilkan nilai seperti kesalahan yang memerlukan perbaikan, proses yang sebetulnya tidak dibutuhkan, pergerakan manusia/alat yang tidak penting, adanya penundaan pekerjaan akibat pekerjaan sebelumnya belum terselesaikan.

Keberadaan sisa-sisa material dari konstruksi terus terjadi sejalan dengan proses pembangunan yang dilaksanakan. Jenis sisa material dapat dikategorikan menjadi dua bagian menurut Tchobanoglous dkk, (1993):

1. Demolition waste adalah sisa material yang didapatkan dari hasil pembongkaran proses renovasi atau penghancuran barang/bangunan lama.

2. Construction waste adalah sisa material konstruksi yang didapatkan dari proses pembangunan atau renovasi bangunan. Dikarenakan sisa material tersebut tidak dapat dipakai lagi sesuai dengan fungsi semula. Sisa material ini bisa terdiri dari beton, besi, plesteran, kayu, pipa dan lain-lain.

Skoyles (1976) ,Construction waste dapat digolongkan menjadi dua kategori berdasarkan jenisnya yaitu:

1. Direct waste adalah sisa material yang timbul di proyek karena rusak, hilang dan tidak dapat digunakan lagi. Beberapa contoh dari direct waste ini antara lain:

a. Transport and delivery waste (sisa transportasi dan pengiriman)

Semua sisa material yang terjadi pada saat melakukan pemindahan material di dalam lokasi pekerjaan, termasuk pembongkaran dan peletakan pada tempat penyimpanan seperti mengangkut besi tidak menggunakan armada yang sesuai pada saat dipindahkan.

b. Site storage waste (sisa penyimpanan)

Sisa material yang terjadi karena peletakan/penyimpanan material pada tempat yang tidak tertutup terpal terutama untuk material pasir dan batu pecah. atau pada tempat dalam kondisi tergenang air terutama untuk material semen.

c. Conversion waste (sisa perubahan bentuk)

Sisa material yang terjadi karena pemotongan bahan dengan bentuk yang tidak sesuai gambar seperti material besi beton, keramik, dsb.

d. Fixing waste (sisa pemasangan)

Material yang tercecer, rusak atau tertimbun selama pemakaian di lapangan seperti besi, pasir, semen, batu bata, dsb.

e. Cutting waste (sisa pemotongan)

Sisa material yang dihasilkan karena pemotongan bahan tidak sesuai rencana/gambar seperti, tiang pancang, besi beton, batu bata , keramik, besi beton, dsb.

f. Application and residu waste

Sisa material yang terjadi seperti beton yang jatuh/tercecer pada saat pelaksanaan atau beton yang tertinggal dan telah mengeras pada akhir pekerjaan.

g. Criminal waste (sisa akibat tindakan kriminal)

Sisa material yang terjadi karena pencurian atau tindakan vandalisme di lokasi proyek seperti guide post pada barrier atau besi yang sudah siap pemasangan .

h. Wrong use waste (sisa kesalahan penggunaan)

Pemakaian tipe atau kualitas material yang tidak sesuai dengan spesifikasi dalam kontrak/gambar, maka pihak owner/konsultan akan meminta kontraktor untuk menggantikan material tersebut sesuai dengan spesifikasi kontrak/gambar, sehingga menyebabkan terjadinya sisa material di lapangan.

i. Management waste (sisa kesalahan management)

Terjadinya sisa material disebabkan karena pengambilan metode yang salah dalam mengambil keputusan, hal ini terjadi karena organisasi proyek yang lemah, atau kurangnya pengawasan.

2. Indirect waste adalah sisa material yang terjadi di area proyek karena volume pemakaian volume melebihi volume yang direncanakan, sehingga terjadi sisa material secara fisik di lapangan dan mempengaruhi biaya secara tersembunyi (hidden cost). Indirect waste dapat dikategorikan menjadi :

a. Substitution waste (sisa hasil pergantian)

Sisa material yang terjadi karena penggunaannya menyimpang dari rencana awal, sehingga menyebabkan terjadinya kehilangan biaya yang dapat disebabkan karena tiga alasan;

- a. Terlalu banyak material yang diorder
- b. Material yang ada/diorder rusak
- c. Makin bertambahnya kebutuhan material tertentu

b. Production waste (sisa hasil produksi)

Sisa material yang disebabkan karena penggunaan material yang berlebihan dan kontraktor tidak dapat mengklaim atas kelebihan volume tersebut karena dasar pembayaran berdasarkan volume kontrak, contoh

pasangan dinding bata tidak rata menyebabkan pemakaian mortar berlebihan karena plesteran menjadi tebal.

c. Negligence waste (sisa karena kelalaian)

Sisa material yang terjadi karena kesalahan di area pekerjaan (site error), sehingga kontraktor menggunakan material lebih dari yang direncanakan, misalnya: penggalian pondasi yang terlalu lebar atau dalam yang disebabkan kesalahan/ kecerobohan pekerja, sehingga mengakibatkan kelebihan pemakaian volume beton pada waktu pengecoran berlebih.

Penelitian yang dilakukan oleh Foo dkk (2013) dalam triwulan penelitian pada lokasi proyek terdapat lima jenis waste fisik terbesar yang terjadi pada proyek tersebut, kelima jenis waste itu adalah sampah beton, puing-puing beton disebabkan oleh tidak sesuai dalam penanganannya. Kemudian sampah kayu, yang berasal dari cetakan atau begisting. Sampah besi, disebabkan oleh kesalahan ketika melakukan pemotongan besi. Sampah batu bata, disebabkan oleh masalah dalam metode penanganan material bata saat konstruksi, dan sampah kemasan, yang dihasilkan saat proses pengiriman material.

2.3 Faktor - Faktor Penyebab Waste

Berdasarkan studi terdahulu menemukan adanya penyebab utama dari waste saat fase desain adalah perubahan pada waktu akhir tentang kebutuhan owner sehingga desain yang sudah ada harus diperbaiki. Sedangkan penyebab yang utama adanya waste pada berlangsungnya konstruksi adalah tentang pemotongan material. Bentuk potongan material yang sudah mengikuti desain/gambar awal dapat menghasilkan sisa potongan yang tentunya tidak dapat dipergunakan kembali. (Poon dan Jaillon, 2002; Poon dkk., 2004; Osmani dkk.,2006), adanya metode pekerjaan tentunya dapat menjadi pilihan pada saat menjalani proses perencanaan desain sekaligus dapat menghasilkan pengaruh pada aktivitas pekerjaan sehingga dapat menghemat waktu. Lawton dkk. (2002) memperkirakan tingkat pengaruh tersebut sebesar 70% dalam pembetonan in-situ dengan menggunakan prefabrikasi. Pekerjaan finishing juga dapat berkurang sampai ke angka 70%.

Menurut Nagapan, dkk (2012), penyebab waste konstruksi dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori yaitu :

a. Desain

Seringnya melakukan perubahan desain merupakan penyebab utama munculnya waste. Waste berbentuk fisik muncul ketika owner menghendaki perubahan pada saat mendekati penyelesaian akhir proyek. Akibat dari adanya perubahan tersebut yang mengakomodasi kebutuhan yang mendadak dari owner, maka akan adanya pekerjaan ulang akan harus dilakukan. Hal ini dapat menyebabkan penghancuran struktur harus dilakukan agar dapat memenuhi kebutuhan dari gambar yang baru. Hal ini tentu akan memakan waktu untuk melakukan pekerjaan kembali.

b. Handling atau Pemeliharaan

Kesalahan penanganan atau peletakan material akan menimbulkan waste. Salah satu contoh adalah penanganan yang kasar dari batu bata selama konstruksi dapat menyebabkan batu bata menjadi retak dan patah. Selain itu, penyimpanan yang salah juga akan menimbulkan waste. Sebagai contoh semen akan rusak jika disimpan pada tempat yang salah yaitu diletakkan di ruang terbuka terkena hujan maupun tergenang air. Melakukan order kembali akan berdampak pada waktu karena akan memakan waktu untuk menunggu kedatangan material yang baru.

c. Pekerja

Kesalahan pekerja selama konstruksi juga menimbulkan waste. Perilaku seperti terlalu lamban dalam bekerja, kurangnya kepedulian, serta pemakaian peralatan yang tidak sesuai kebutuhan dapat menimbulkan kesalahan pekerjaan. Pekerja yang tidak kompeten cenderung membuat kesalahan lebih banyak karena dia tidak dibekali keterampilan yang cukup dan etos kerja yang buruk. Pada saat yang sama apabila terjadi kesalahan maka harus dilakukan pekerjaan ulang. Hal ini akan membuat durasi pekerjaan menjadi bertambah.

d. Manajemen

Perencanaan yang buruk dan pengontrolan yang kurang baik mewakili kategori manajemen dalam penyebab munculnya waste. Perencanaan yang buruk dapat dikarenakan skill perencanaan staf

manajemen yang kurang baik. Tanpa detail perencanaan dalam proses konstruksi, kebutuhan dan fasilitas penyimpanan material dapat menghasilkan waste fisik. Contohnya, pada saat tahap perencanaan, kebutuhan suplai material dan spesifikasi proyek yang baik dapat mengurangi waste. Pengontrolan yang buruk juga berkontribusi terhadap adanya waste. Contohnya apabila ada material bata datang dan terjadi kesalahan dalam bongkar muatan material bata tersebut, tanpa adanya proses pengontrolan yang baik, maka akan ada bata yang retak atau patah.

e. Kondisi site

Waste yang muncul dapat berbentuk potongan baja, bekisting yang sudah terpakai, dan bata yang rusak dapat tercecer di site. Hal ini biasanya terjadi pada saat tahap akhir proyek. Sifat pekerja dan pengawas yang kurang baik akan menyebabkan hal ini terjadi. Contoh kondisi site yang buruk pada proyek jalan adalah kondisi permukaan tanah yang berbukit atau berawa. Kondisi permukaan yang jelek akan menyebabkan peralatan menjadi rusak dan tentunya akan mengakibatkan terjadinya penundaan aktivitas proyek.

f. Pengadaan

Waste yang akan muncul dalam hal pemesanan material dalam proyek konstruksi adalah pemesanan batu bata yang berlebih dan ready mix beton yang pada akhirnya akan terbuang sia - sia. Terkadang pemesanan material yang asal – asalan dan tidak mendetail juga menyebabkan waste secara fisik. Pemesanan yang salah akan menyebabkan tertundanya pekerjaan akibat material yang datang tidak dapat dipakai.

g. Faktor Eksternal

Pengaruh dari cuaca menjadi faktor yang dominan dan berpengaruh dalam waste konstruksi. Hujan yang sangat deras dengan diiringi badai akan mengacaukan material konstruksi yang ada di site, seperti patahnya bekisting, mix beton akan menjadi encer, dan tulangan baja menjadi berkarat. Cuaca juga dapat menjadi penyebab adanya delay aktivitas konstruksi. Pekerjaan pengecoran dan penggalian tidak dapat dilakukan dibawah hujan lebat dan badai.

Menurut Asiyanto (2005), waste konstruksi dapat terjadi karena bermacam-macam sebab yaitu:

1. Penyusutan quantity

Penyusutan quantity dapat terjadi pada saat transportasi ke site dan pada saat pembongkaran material untuk ditempatkan pada gudang atau lokasi penumpukan. Penyusutan quantity juga dapat terjadi pada proses pemindahan material dari satu tempat ke tempat lain dalam lokasi proyek, terutama untuk material lepas seperti pasir dan kerikil.

2. Quantity yang ditolak

Penerimaan material yang kurang teliti di-site dapat mengakibatkan ditolaknya sebagian material yang tidak memenuhi persyaratan mutu, bentuk, warna dan lain-lain.

3. Quantity yang rusak

Penyimpanan material yang kurang baik dapat menyebabkan kerusakan, khususnya untuk material yang sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (temperature, kelembaban udara, tekanan, dan lain-lain). Kerusakan material juga dapat terjadi karena kegiatan pengambilan, pengangkutan, pengangkatan dan pemasangan yang kurang baik.

4. Quantity yang hilang

Material-material yang mudah dijual dipasaran atau banyak diperlukan oleh masyarakat (seperti semen dan lain-lain) rawan hilang akibat pencurian. Sistem pengamanan yang lemah dengan sistem kontrol yang lemah akan memperbesar kemungkinan hilangnya material-material tersebut. Material fiktif (quantity ada tapi fisik materialnya tidak ada), termasuk dalam kelompok quantity hilang.

5. Quantity akibat kelebihan penggunaan

Waste jenis ini biasanya dilakukan oleh para pelaksana yang menggunakan material secara langsung, waste ini juga dapat disebabkan oleh over method, over quality atau ketidaktelitian tentang ukuran/ dimensi, sehingga dimensi pekerjaan yang terjadi lebih besar dari gambar. Kelebihan penggunaan material juga dapat disebabkan oleh metode yang kurang efisien dan juga akibat pekerjaan ulang yang terjadi.

2.4 Mitigasi Terhadap Waste

Waste pada proyek konstruksi memiliki dampak tersendiri di setiap proses pembangunan sebuah konstruksi (Begum dkk, 2009). Dampak yang diakibatkan waste berpengaruh terhadap lingkungan pada saat ini maupun pada saat yang akan datang. Oleh sebab itu diperlukan usaha-usaha untuk meminimalisir terjadinya waste, meskipun waste pasti akan terjadi, namun setidaknya dapat diminimalisir.

Penyimpanan sumber daya dan penurunan waste merupakan hal yang semakin lama semakin harus diperhatikan dalam sektor konstruksi yang berkelanjutan. Meminimalisasi waste memiliki arti menghindari, mengeliminasi atau memperkecil waste pada sumber penyebabnya, atau menggunakan / mendaur ulang waste untuk tujuan yang bermanfaat dan aman (Guthrie dan Mallet, 1995). Upaya menurunkan waste pada sumbernya dalam sebuah konstruksi gedung melibatkan baik konsep desain maupun teknologi serta pemilihan material (Poon dan Jaillon, 2002). Prefabrikasi telah ditetapkan sebagai sebuah solusi untuk mengurangi kemunculan waste pada tahapan desain dan konstruksi. Prefabrikasi adalah sebuah proses yang dilakukan oleh suatu unit yang biasanya terletak di tempat tertentu dimana berbagai macam material diolah dan digabungkan menjadi satu untuk membentuk komponen yang selanjutnya akan dipasang. (Tatum dkk.,1986; CIRIA, 1999).

Pada penelitian yang lain didapatkan bahwa pengurangan waste dan perbaikan quality control merupakan keuntungan utama ketika menggunakan precast dibandingkan dengan konstruksi in-situ yang tradisional. Selain itu, pra-fabrikasi juga berkontribusi dalam mewujudkan lingkungan kerja yang lebih rapi, bersih, dan lebih aman jika dibandingkan dengan konstruksi konvensional karena pada kenyataannya, elemen – elemen atau bagian yang dibuat secara fabrikasi menghasilkan kualitas kontrol yang lebih baik dibandingkan dengan elemen yang dibuat secara langsung di proyek. Sebagian besar penyebab waste yang awalnya berada di wilayah lokasi proyek, dapat dialihkan ke lokasi luar proyek sehingga mengurangi waste di lokasi dan mudah untuk menggunakan kembali dan mendaur ulang waste yang muncul pada *plant* pembuatan komponen. Selain itu, keuntungan lainnya adalah lebih ramah terhadap

lingkungan dan keamanan lokasi proyek, dan pengurangan terhadap waktu konstruksi dan kebutuhan pekerja kasar di lokasi proyek. (Jailoon dkk, 2009)

Seperti yang sudah dibahas diatas bahwa waste tidak hanya berupa material namun juga waktu dimana waktu adalah sumber daya yang sangat penting bagi sebuah pelaksana proyek. Sebuah penelitian menunjukkan beberapa upaya mitigasi yang dapat dilakukan untuk menangani waste non-fisik tersebut. Bentuk mitigasi disesuaikan dengan bentuk penyebab dan kondisi proyek. Bentuk dari mitigasi pada penelitian Abdul-Rahman (2006), yaitu dengan meningkatkan produktivitas dengan bekerja lembur atau menerapkan shift pekerjaan. Dengan menambah jam pekerjaan maka akan menyimpan cadangan waktu apabila di waktu mendatang terdapat sesuatu hal yang menyebabkan terjadinya delay. Selain itu, bentuk mitigasi lain adalah dengan menyerahkan pekerjaan pada sub-kontraktor. Pemberian tugas pada sub-kontraktor dapat menjadi solusi karena biasanya sub-kontraktor memiliki sumber daya dan metode pelaksanaan yang tidak dimiliki oleh kontraktor. Responden lain mengatakan bahwa penggantian metode konstruksi atau dengan menggunakan teknologi yang berbeda juga sebagai bentuk mitigasi. Dengan menggunakan metode konstruksi campuran akan memangkas biaya, menghemat waktu, dan meningkatkan kualitas bangunan seperti penggunaan cast in-situ untuk bagian utama, pre-cast untuk bagian arsitektural, dan menggunakan metode konvensional untuk bagian yang kecil.

2.5 Decision Support




2.5.1 Fault Tree Analysis

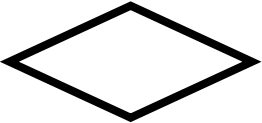
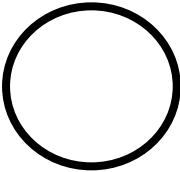
Fault Tree Analysis adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi resiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat top down, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (Top Event) kemudian merinci sebab-sebab suatu Top Event sampai pada suatu kegagalan dasar (root cause). Fault Tree Analysis merupakan metoda yang efektif dalam menemukan inti permasalahan karena dalam

memastikan bahwa suatu kejadian yang tidak diinginkan akan timbul, tidak berasal pada satu titik kegagalan.

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 2.1 Tabel 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 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.	
	Lanjutan tabel simbol pada halaman selanjutnya	

<i>Undeveloped Event</i>	Kejadian dasar (Basic Event) 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.	

Sumber : International Electrotechnical Commission (2006)

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 :

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

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

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 :

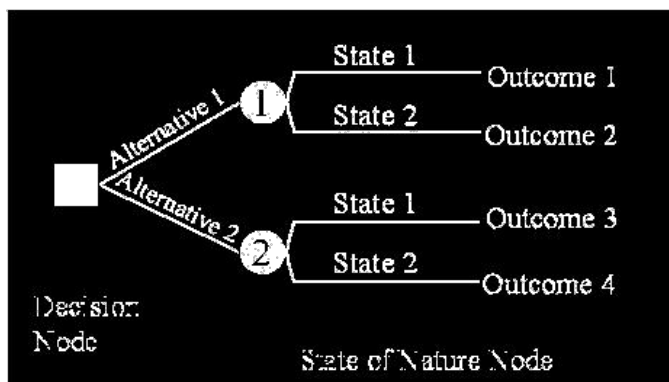
P (A) = peluang kejadian A

P (B) = peluang kejadian B

P (C) = peluang kejadian C

2.5.2 Decision Mitigasi dan Expected Monetary Value

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 2.1 Diagram Keputusan (Cahyo, 2008)

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, seperti yang ditunjukkan pada rumus 2.2.

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:

$$EMV (A_i) = \sum_{i=1}^N y_i \times P (V_i) \quad (2.2)$$

dengan:

A_i: Alternatif i

N: Jumlah state of Nature

V_i: Nilai Payoff (outcome)

P(V_i): Probabilitas payoff

2.6 Penelitian Sebelumnya

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu Terhadap Posisi Penulis

Sumber	Identifikasi	Hasil	Teknik Analisa Data
Analisa Faktor Penyebab Waste dan Pengaruh Mitigasinya pada Proyek Konstruksi Gedung di Kota Surabaya (Bramantya, 2018)	Menganalisa faktor penyebab waste pada proyek konstruksi gedung dan melihat bentuk efektivitas mitigasinya	Penyebab waste yang terjadi di proyek gedung di Kota Surabaya serta sejauh mana mitigasinya berpengaruh.	Fault Tree Analysis, Monte Carlo, Expected Monetary Value, Decision Tree
Lanjutan penelitian sebelumnya pada halaman berikutnya.			

<p>Analisis Penanganan Material Waste Pada Proyek Perumahan Di Surabaya. (Iriana, 2009)</p>	<p>Menganalisa penyebab terjadinya waste material pada proyek perumahan di Kota Surabaya dan penanganannya.</p>	<p>Penyebab utama terjadinya waste disebabkan oleh kesalahan pekerja sehingga banyak material seperti kayu, bes, cat, dan genteng yang bersisa</p>	<p>Analisis Frekuensi, Analisis Mean</p>
<p>Evaluation Of Causes Of Construction Material Waste - Case Of Rivers State, Nigeria. (Adewuyi dan Otali, 2013)</p>	<p>Mengevaluasi penyebab konstruksi waste pada bangunan di Nigeria.</p>	<p>Terdapat tiga faktor utama penyebab waste yaitu rework akibat masalah gambar dan spesifikasi, perubahan desain dan revisi, serta waste karena bentuk yang tidak ekonomis.</p>	<p>Mean Score Method, Ranking Method, Mann-Whitney U Test</p>
<p>Lanjutan penelitian sebelumnya pada halaman berikutnya.</p>			

<p>Factors Contributing to Physical and Non-Physical Waste. (Nagapan, dkk, 2012)</p>	<p>Mengidentifikasi dan mendeteksi faktor yang berkontribusi terhadap adanya waste konstruksi.</p>	<p>Terdapat 81 faktor yang berpengaruh, terbagi dalam beberapa kategori: desain, penanganan, pekerja, manajemen, kondisi lokasi proyek, pengadaan, dan faktor eksternal.</p>	<p>Analisa Faktor</p>
<p>Quantifying The Waste Reduction Potential of Using Prefabrication in Building Construction in Hong Kong. (Jailoon, dkk, 2009)</p>	<p>Meneliti penggunaan prefabrikasi dan pengaruhnya terhadap pengurangan waste di Hongkong.</p>	<p>Penggunaan prefabrikasi sangat menguntungkan jika dibandingkan dengan konvensional dan mengurangi adanya waste sekitar 52%</p>	<p>T-Test</p>
<p>Lanjutan penelitian sebelumnya pada halaman berikutnya.</p>			

Non-Value Adding Activities in Australian Construction Project (Alwi, dkk, 2002)	Mengidentifikasi aktivitas yang tidak menghasilkan value dan penyebabnya.	Variabel penyebab : <ul style="list-style-type: none"> • Dokumentasi proyek yang buruk • Cuaca • Gambar proyek tidak lengkap • Desain buruk • Perubahan desain • Revisi gambar yang lambat • Spesifikasi tidak jelas 	T-Test, Regresi Linear
--	---	---	------------------------

Sumber : Olahan Penulis (2020)

Penelitian oleh Alwi dkk (2002) merupakan bagian dari suatu penelitian besar yang bertujuan untuk mengetahui adanya pekerjaan – pekerjaan yang tidak memiliki nilai tambah oleh pihak – pihak yang terlibat dalam kontrak proyek di Australia. Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan menggunakan media survei kuesioner untuk pengumpulan data dengan 53 variabel yang terkait dengan pekerjaan non-value. Variabel tersebut kemudian terbagi menjadi dua yaitu : *waste variables* dan *waste causes variables*. *Waste variables* merupakan hal-hal yang menyebabkan penurunan pada produktivitas pekerjaan konstruksi. Sedangkan *waste causes variables* didefinisikan sebagai faktor yang menghasilkan waste. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat tujuh hal yang dianggap sebagai *waste causes variables* yaitu : dokumentasi proyek yang buruk, cuaca, gambar proyek tidak lengkap, desain buruk, perubahan desain, revisi gambar yang lambat, spesifikasi tidak jelas.

Penelitian oleh Jailoon dkk (2009) mempelajari tentang penggunaan material prefabrikasi pada pembangunan konstruksi di Hong Kong. Peneliti menggunakan survei yang ditujukan kepada para profesional berpengalaman. Metode yang digunakan adalah metode T-Test. Hasil yang diperoleh peneliti adalah penggunaan material

prefabrikasi memberikan suatu efek positif berupa penurunan waste jika dibandingkan dengan konstruksi konvensional tanpa prefabrikasi. Tingkat penurunan waste dengan menggunakan prefabrikasi yakni sekitar 52%. Hal ini berarti semakin banyaknya penggunaan prefabrikasi semakin dapat mengurangi jumlah waste yang terjadi di Hong Kong dan dapat meringankan beban dalam manajemen. Penggunaan prefabrikasi ini dapat digolongkan sebagai salah satu respons mitigasi terhadap waste.

Variabel penyebab waste juga dikaji oleh Nagapan dkk (2012) dan Adewuyi dan Otali (2013). Penelitian Nagapan mengidentifikasi faktor yang menyebabkan waste dengan menggunakan metode mapping dan interview. Beliau mendapatkan terdapat total 81 faktor yang menyebabkan waste dimana 63 merupakan faktor waste fisik dan 73 faktor merupakan penyebab waste non-fisik. Kemudian, faktor tersebut dikelompokkan menjadi beberapa kategori yaitu desain, penanganan, pekerja, manajemen, kondisi lokasi proyek, pengadaan, dan faktor eksternal. Adewuyi mengevaluasi penyebab waste konstruksi pada gedung di Nigeria. Data dikumpulkan dengan menggunakan survei kuesioner dan studi literatur. Data tersebut diolah dengan menggunakan Mean Score Method, Ranking Method, dan Mann-Whitney U-Test. Dari 74 faktor yang didapatkan, tiga faktor teratas pada hasil pengolahan data adalah rework akibat masalah gambar dan spesifikasi, perubahan desain dan revisi, serta waste karena bentuk yang tidak ekonomis.

Iriana (2009) dalam penelitiannya membahas tentang material waste yang ada pada perumahan di Kota Surabaya. Waste yang paling banyak dihasilkan sesuai urutan adalah material keramik, genteng, kayu, cat, dan besi beton. Sedangkan penyebab waste yang dominan adalah kesalahan pekerja sehingga terjadi waste kayu, genteng, keramik, dan besi beton. Sedangkan penyebab waste berupa cat akibat dari perubahan spesifikasi yang mendadak. Di dalam penelitian tersebut juga disebutkan cara pengendalian untuk masing – masing waste. Untuk mengendalikan waste keramik, genteng, dan besi beton, dilakukan dengan meningkatkan ketelitian dalam pekerjaan. Untuk material kayu adalah dengan rencana kerja yang baik, dan untuk cat dilakukan metode pelaksanaan yang tepat.

Adapun sintesa dari variabel penyebab waste ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Variabel Penyebab Material Waste Berdasarkan Literatur

No	Variabel	Sumber
1	Kesalahan Desain	Alwi dkk. (2002), Graham dan Smithers (1996)
2	Perubahan Desain	Alwi dkk. (2002), Nagapan dkk. (2012)
3	Kesalahan Pemesanan	Nagapan dkk. (2012)
4	Desain Tidak Ekonomis	Adewuyi dan Otali (2013)
5	Pemesanan Yang Berlebihan	Nagapan dkk. (2012)
6	Pemesanan Material Harus Dalam Jumlah Tertentu	Abdul-Rahman dkk. (2006)
7	Pemesanan Material Tidak Memenuhi Spesifikasi	Alwi dkk. (2002)
8	Kerusakan Selama Pengangkutan Material	Abdul-Rahman dkk. (2006)
9	Penanganan Material Yang Tidak Benar	Nagapan dkk. (2012), Graham dan Smithers (1996)
10	Penyimpanan Material Yang Tidak Benar	Nagapan dkk. (2012)
11	Kesalahan Pekerja	Nagapan dkk. (2012), Graham dan Smithers (1996)
12	Pekerja Tidak Ahli	Nagapan dkk. (2012)
13	Kecelakaan Pekerjaan	Abdul-Rahman dkk. (2006), Graham dan Smithers (1996)

14	Perusakan/ Vandalisme	Abdul-Rahman dkk. (2006)
15	Cuaca	Nagapan dkk. (2012), Graham dan Smithers (1996)
16	Gambar proyek tidak lengkap	Alwi dkk. (2002)
17	Revisi gambar yang lambat	Alwi dkk. (2002)
18	Spesifikasi tidak jelas	Alwi dkk. (2002)

Sumber : Olahan Literatur (2020)

Dari hasil identifikasi faktor waste oleh penelitian – penelitian tersebut, peneliti menjadikannya sebagai variabel penelitian. Variabel tersebut kemudian akan diolah dengan menggunakan metode *fault tree analysis*, dan *expected monetary value*.