

ANALISIS FAKTOR PENYEBAB DAN MITIGASI WASTE PADA PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG DI KOTA MEDAN

Yehezkiel Simamora¹, Ahmad Fahmi Muarif², Mizanuddin Sitompul³

Manajemen Rekayasa Konstruksi Gedung^{1,2}, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan

Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan³, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan

kielsimamora22@gmail.com¹, ahmadfahmimuarif@students.polmed.ac.id²,

mizanuddinsitompul@polmed.ac.id³

ABSTRAK

Kota Medan, sebagai ibu kota provinsi Sumatera Utara tentunya terdapat pembangunan proyek konstruksi gedung, tentu tidak terlepas akan terjadinya potensi kerugian. Potensi kerugian dapat diakibatkan dengan terjadinya *waste* yang diartikan sebagai tindakan manusia yang menggunakan sumber daya yang signifikan tetapi tidak menghasilkan nilai tambah. Mengingat *waste* merupakan masalah yang penting, maka perlu dilakukan analisis faktor penyebab dan mitigasi *waste*, dikarenakan kontraktor harus menyiapkan solusi agar potensi itu tidak berkembang menjadi suatu kejadian yang sebenarnya. Pengambilan sampel pada populasi dilakukan dengan teknik *purposive sampling*. Sampel pada penelitian ini berjumlah 7 sampel, yaitu pembangunan RSIA. Stella Maris, Ruko J-Line Block C, Kampus Sampoerna Academy Cipto, Perumahan Malibu Junction, Apartemen Princeton Boutique Living, Toko Bolu meranti, dan Swalayan Wiego Warehouse. Penelitian ini menggunakan teknik pengumpulan data berupa kuesioner dan wawancara, serta teknik analisis data yang dimulai dengan bagan *fault tree analysis*, simulasi *monte carlo*, dan *expected monetary value* (EMV), menentukan faktor penyebab utama berdasarkan nilai EMV terbesar, dilanjutkan dengan *decision tree*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor utama penyebab *waste* konstruksi adalah pekerja kurang diseleksi dengan tepat sebesar 17,971%. Adapun mitigasi terbaik yang dapat dilakukan adalah dengan memperketat seleksi pekerja, dengan melakukan uji coba keahlian pekerja dan meminta bukti pengalaman atau keahlian pekerja.

Kata Kunci : *Waste, Monte Carlo, Fault Tree Analysis, Expected Monetary Value, Decision Tree*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kota Medan merupakan ibu kota Provinsi Sumatera Utara, terdapat pembangunan proyek konstruksi yang dilakukan demi memenuhi kebutuhan masyarakat. Mulai dari pembangunan rumah sakit, perkantoran, pertokoan, apartemen, dan bangunan gedung lainnya. Pada proyek tersebut, tentu tidak terlepas dari terjadinya potensi kerugian. Hal ini tentu sangat merugikan bagi perusahaan penyedia jasa konstruksi apabila material *waste* terhitung sangat banyak persinya dari kewajaran. Menurut Ngapan, dkk (2012), pada penelitiannya terhadap bangunan di Nigeria, terdapat 81 faktor yang dapat menimbulkan terjadinya *waste* pada sebuah proyek baik itu *waste* berbentuk fisik maupun *non-fisik*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Fajar, s., dkk (2019) terkait evaluasi dan analisa sisa material konstruksi pada proyek pembangunan gedung PERKIM dan gedung BPMPT di kota Palangka Raya, terdapat potensi biaya *waste* material tertinggi dari total biaya proyek akibat faktor kesalahan tenaga kerja dan sisa pemotongan yang tidak dapat digunakan kembali, sehingga terdapat *consumable* material (besi beton) dan *non consumable* material (kayu papan kelas III) yaitu secara berturut pada PERKIM sebesar 3,063% atau senilai Rp. 153.867.005 dan sebesar 6,412% atau senilai Rp. 322.048.567 serta pada BPMPT sebesar 2,998% atau senilai Rp. 153.487.008 dan sebesar 6,448% atau senilai Rp. 330.128.992, sehingga sebenarnya terdapat biaya penghematan yang potensial.

Mengingat bahwa *waste* merupakan masalah yang penting pada industri konstruksi, namun masih sering diabaikan oleh kontraktor atau pemilik proyek sehingga *waste* material hanya dibuang ke tempat pembuangan akhir (Asnudin et al., 2017), maka perlu dilakukan analisis faktor penyebab dan mitigasi *waste* pada proyek konstruksi gedung di kota Medan dengan bantuan simulasi *monte*

carlo, simulasi ini dapat digunakan karena setiap proyek memiliki karakteristik yang berbeda, kemudian dapat memberikan presentase probabilitas pada setiap variabel penyebab terjadinya *waste* yang dapat mendukung konsep *expected monetary value* (EMV) untuk menentukan faktor utama yang menyebabkan *waste*. EMV dapat juga digunakan pada diagram keputusan sebagai pertimbangan untuk memilih suatu alternatif (Putra B. F. dan Wiguna I. P. A., 2019).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis tertarik untuk mengangkat topik penelitian dengan judul “Analisis Faktor Penyebab dan Mitigasi *Waste* pada Proyek Konstruksi Gedung di Kota Medan” untuk diteliti.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Apa faktor penyebab utama terjadinya *waste* pada proyek konstruksi gedung di kota Medan?
2. Bagaimana mitigasi yang dapat dilakukan terhadap faktor penyebab utama tersebut untuk mengurangi terjadinya *waste* pada proyek konstruksi gedung di kota Medan?

Tujuan Penelitian

Adapaun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis apa faktor penyebab utama terjadinya *waste* pada proyek konstruksi gedung di Kota Medan.
2. Menganalisis bagaimana bentuk mitigasi yang dilakukan terhadap faktor penyebab utama terjadinya *waste* tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Waste Konstruksi

Menurut Nagapan dkk (2012) mengemukakan bahwa *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 konstruksi yang berbentuk fisik didefinisikan sebagai material yang berasal dari aktivitas konstruksi, ekskavasi, renovasi, pembongkaran seperti puing – puing beton, pecahan batu bata/heber, besi tulangan, kayu, material plastik, serta kerikil dan pasir.
2. *Waste non-fisik*
Waste jenis ini merupakan kegiatan pekerjaan yang menghabiskan sumber daya tetapi tidak menghasilkan nilai seperti kesalahan yang memerlukan perbaikan, proses yang sebetulnya tidak dibutuhkan, pergerakan manusia yang tidak penting, adanya penundaan pekerjaan akibat pekerjaan sebelumnya belum terselesaikan.

waste konstruksi dapat didefinisikan sebagai tindakan manusia yang menggunakan sumber daya yang signifikan tetapi tidak menghasilkan nilai tambah.

Faktor – Faktor Penyebab Waste

Menurut Nagapan, dkk (2012) penyebab *waste* konstruksi dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori dan dapat berupa *waste* berbentuk fisik dan *non-fisik*:

1. Desain
Perubahan desain yang sering merupakan penyebab utama munculnya *waste*. *Waste* berbentuk fisik muncul ketika *owner* mengkehendaki perubahan pada saat pelaksanaan proyek. Akibat dari perubahan tersebut yang mengakomodasi kebutuhan yang mendadak dari *owner*, maka pekerjaan ulang akan dilakukan. Hal ini dapat menyebabkan pembongkaran dan pekerjaan ulang pada pekerjaan yang sudah dikerjakan agar dapat memenuhi kebutuhan yang dikehendaki *owner*, hal ini juga akan memakan waktu serta biaya yang membuat *waste* ini berbentuk *non-fisik*.
2. Penanganan
Kesalahan penanganan material akan menimbulkan *waste*, pada kategori ini terdapat dua faktor penyebab dominan, yaitu penyimpanan bahan yang salah dan penanganan bahan yang buruk sehingga menjadi faktor kunci penyebab adanya *waste*, penyimpanan material yang salah dapat

menimbulkan *waste* berbentuk fisik dan *non-fisik*, seperti strategi penyimpanan yang tidak tepat. Misalnya, penyimpanan semen di bawah jembatan atau pada ruang terbuka, hal ini dapat menyebabkan bahan terkena kelembapan dan hujan, pada akhirnya berakhir menjadi *waste* berbentuk fisik, dan kemudian jika batu bata dan semen rusak di lokasi karena penyimpanan yang tidak tepat, maka ini menyebabkan kekurangan material selama konstruksi. Pada saat stok bahan bangunan tidak mencukupi, maka dapat menyebabkan terhentinya pekerjaan konstruksi di lokasi, sehingga para pekerja yang menunggu kedatangan material baru akan berakhir sebagai *waste non-fisik*. Kemudian faktor penanganan bahan yang buruk. Sebagai contoh, pada saat melakukan penanganan batu bata dan balok secara agresif selama proses konstruksi dapat menyebabkan terjadinya retakan dan kerusakan sehingga memberikan kerugian material yang berakhir dalam bentuk *waste* fisik.

3. Pekerja

Pada kategori ini, skor frekuensi tertinggi ada pada kesalahan pekerja selama konstruksi. Pekerja yang tidak terampil cenderung membuat lebih banyak kesalahan karena kurangnya keterampilan dan sikap kerja yang buruk. Faktor kesalahan pekerja selama konstruksi dapat menyebabkan *waste* berbentuk fisik dan *non-fisik*. Sebagai contoh, kesalahan selama pekerjaan beton dapat menyebabkan pengerjaan ulang, material yang telah digunakan dan waktu pengerjaan ulang menjadi penyumbang adanya *waste* fisik dan *non-fisik*.

4. Manajemen

Pada kategori ini melibatkan jumlah faktor sebanyak 20 faktor yang berkontribusi terhadap *waste*. Skor tertinggi dalam kategori ini adalah faktor perencanaan dan pengendalian yang buruk menyebabkan adanya *waste* fisik dan *non-fisik*. Perencanaan yang buruk disebabkan oleh kurangnya keterampilan perencana *staf* manajemen, sehingga dari perencanaan kebutuhan dan fasilitas penyimpanan material dapat menyebabkan timbulan *waste* fisik. Selain itu, faktor pengendalian yang buruk berkontribusi terhadap *waste* fisik, misalnya dikarenakan kurangnya kontrol dalam jumlah bata yang dikirim dan terjadinya kerusakan selama proses pembongkaran. Selain itu, faktor perencanaan dan pengendalian yang buruk juga berkontribusi terhadap *waste non-fisik*. Misalnya, kurangnya perencanaan yang terkoordinasi dengan subkontraktor dan perencanaan serta pemilihan peralatan yang salah dapat menyebabkan terbuangnya waktu karena pekerjaan terhenti. Kemudian, kurangnya kontrol pada kemajuan sub-kontraktor atau sikap para pekerja lapangan pada akhirnya akan menunda pekerjaan.

5. Kondisi lokasi

Kategori ini memiliki 8 faktor penyumbang *waste*, ditemukan adanya bahan sisa di lokasi adalah faktor utama yang berkontribusi terhadap *waste* fisik. Sisa material di lokasi seperti, potongan baja, bekisting bekas, dan batu bata yang rusak. Hal ini disebabkan oleh sikap buruk pengawas proyek dan para pekerja.

Kemudian untuk limbah *non-fisik*, faktor kondisi lokasi yang buruk adalah yang tertinggi, sebagai contoh adanya permukaan yang kasar menyebabkan terjadinya kegagalan peralatan hingga berujung pada penundaan, kemudian pada saat pembangunan gedung tinggi di tengah kota metropolitan yang membutuhkan transportasi alat berat dapat menghabiskan banyak waktu.

6. Pengadaan

Kategori ini memiliki 10 faktor penyebab *waste*, faktor kesalahan pemesanan merupakan faktor utamanya. Sebagai contoh, terdapat pemesanan yang berlebihan dari material batu bata dan beton sehingga berakhir sebagai *waste* fisik. Terkadang, pemesanan bahan yang tidak sesuai spesifikasi juga ikut menyumbang terjadinya *waste* fisik. Kemudian, faktor pemesanan yang salah juga menghasilkan *waste non-fisik*, sehingga ketika kekurangan bahan selama proses konstruksi dapat menyebabkan penghentian pekerjaan.

7. Faktor eksternal

Kategori ini memiliki 8 faktor penyebab terjadinya *waste*. Pengaruh cuaca menjadi faktor yang paling dominan, terjadinya hujan deras disertai badai yang kuat dapat merusak banyak bahan bangunan, seperti bekisting dapat pecah, beton basah diencerkan, dan batang baja menjadi berkarat. Selain itu, teriknya matahari dengan suhu tinggi dapat mengakibatkan terjadinya pengerasan beton basah sebelum digunakan, sehingga kedua situasi ini berakhir sebagai *waste* fisik.

Tidak hanya itu, faktor cuaca menjadi penyumbang utama *waste non-fisik*, dimana dapat menyebabkan terhentinya pekerjaan sehingga mengakibatkan keterlambatan pekerjaan konstruksi, seperti pekerjaan beton dan penggalian.

Berdasarkan penelitian Putra B. F. dan Wiguna I. P. A. (2019) mengemukakan bahwa terdapat tiga faktor dasar terbesar yang menjadi penyebab adanya *waste* pada proyek konstruksi gedung di Kota Surabaya berdasarkan nilai EMV-nya yaitu sebagai berikut:

1. *Owner* melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan
Faktor ini memiliki nilai probabilitas sebesar 0,57% dan memiliki nilai dampak sebesar 11,03% dari nilai proyek, sehingga didapat EMV sebesar 6,29%.
2. Perencana kurang kompeten
Faktor ini memiliki nilai probabilitas sebesar 0,42 dan nilai dampak sebesar 5,34% dari nilai proyek, sehingga didapat EMV sebesar 2,24%.
3. Terjadi miskomunikasi dalam perencanaan desain
Faktor ini memiliki nilai probabilitas 0,54 dan nilai dampak sebesar 3,74%, sehingga didapat EMV sebesar 2,02%.

Berdasarkan penelitian Fajar, S., dkk (2019) mengemukakan bahwa berdasarkan Perhitungan Kebutuhan Material dan Analisis Statistik Deskriptif diperoleh dua faktor utama penyebab adanya *waste* pada dua konstruksi gedung yang diamati, yaitu sebagai berikut:

1. Kesalahan yang diakibatkan oleh tenaga kerja. Faktor ini menjadi peringkat pertama pada proyek gedung dinas PERKIM dan peringkat ke dua pada proyek gedung BPMPT dengan nilai rata-rata sebesar 3,42 dan 3,54.
2. Sisa pemotongan material yang tidak dapat digunakan lagi. Faktor ini menjadi peringkat kedua pada proyek gedung dinas PERKIM dan peringkat pertama pada proyek gedung BPMPT dengan nilai rata-rata sebesar 3,13 dan 4,04.

METODE PENELITIAN

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dan tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini, maka jenis penelitian ini termasuk jenis penelitian eksploratif. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui faktor penyebab terjadinya *waste* dan mitigasinya pada proyek konstruksi gedung di kota Medan.

Pada penelitian ini menggunakan jenis data primer. Data primer tersebut meliputi data probabilitas dan data dampak yang didapat dari responden melalui kuesioner dan wawancara.

Populasi pada penelitian ini adalah proyek konstruksi gedung di kota Medan yang menghasilkan *waste*. Sedangkan sampel penelitian ini adalah sebagian dari proyek konstruksi gedung tersebut, pada penelitian ini terdapat sampel penelitian sebanyak 7 proyek di kota Medan dengan 10 orang sebagai responden. Untuk mendapatkan sampel digunakan metode *non-probability sampling* dengan teknik *purposive sampling*. Hal tersebut dilakukan karena tidak diketahui jumlah populasi dalam penelitian ini, adapun banyaknya jumlah sampel tersebut diakibatkan karena terbatasnya jumlah proyek yang dapat ditemukan dan terdapat penolakan dari pihak proyek.

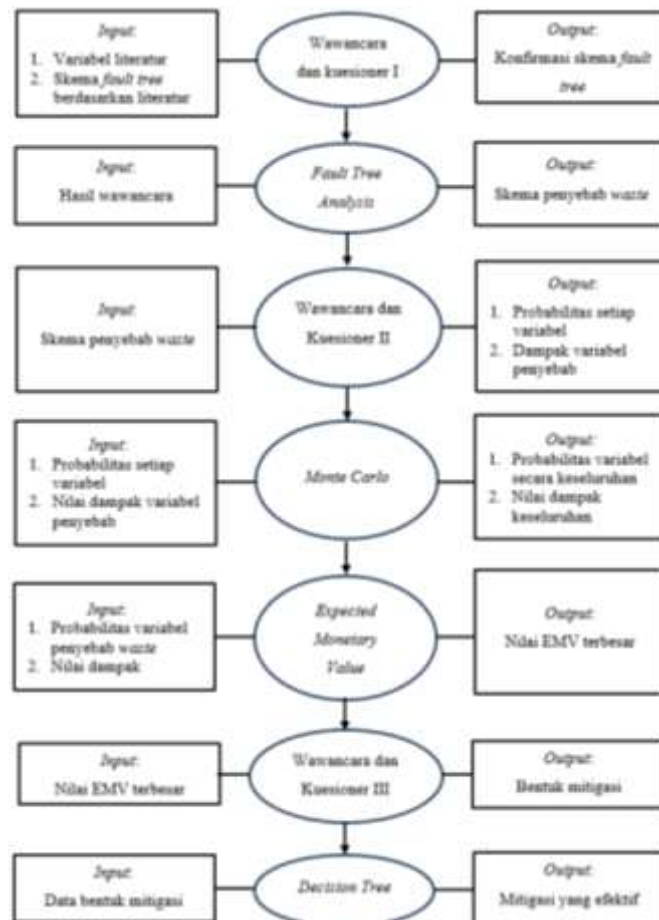
Responden pada penelitian ini adalah pihak yang memiliki pemahaman terhadap proyek yang sedang dikerjakan seperti *project manager*, *site manager*, *structure engineer*, dan *quality control* dari proyek konstruksi gedung di kota Medan, karena merupakan orang yang paling mengetahui kondisi proyek yang sebenarnya.

Identifikasi variabel *waste* dalam penelitian ini diawali dengan studi literatur dan kemudian dilanjutkan dengan menggali informasi kepada responden melalui kuesioner I sehingga diperoleh penyesuaian variabel hasil studi literatur dengan kondisi proyek sebagai sampel penelitian. Dalam variabel penelitian ini, terdapat variabel diluar hasil studi literatur yang disampaikan langsung oleh responden, seperti yang ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian Penyebab *Waste* Konstruksi

Kode	Variabel	Kategori	Sumber
Y1	Kesalahan desain akibat perencana kurang kompeten	Desain	Bramantya dan Wiguna (2019)
Y2	<i>Owner</i> melakukan perubahan desain ketika konstruksi sedang berjalan	Desain	Bramantya dan Wiguna (2019)
Y3	Revisi gambar yang lambat	Desain	Alwi, dkk (2002)
Y4	Keterlambatan pemesanan material	Pengadaan	Wawancara (2024)
Y5	<i>Supplier</i> material jauh	Pengadaan	Wawancara (2024)
Y6	Kerusakan selama pengangkutan material	Pengadaan	Abdul-Rahman, dkk (2006)
Y7	Kekurangan tenaga kerja	Pengadaan	Wawancara (2024)
Y8	Pemesanan material kurang tepat (kelebihan, kekurangan, salah spesifikasi, dsb)	Pengadaan	Handayani dan Angreni (2020), Fajar, S., dkk (2019)
Y9	Kurang pemeliharaan peralatan	Penanganan	Wawancara (2024)
Y10	Operator peralatan kurang kompeten	Penanganan	Wawancara (2024)
Y11	Penyimpanan material yang salah	Penanganan	Foo dkk (2013)
Y12	Pekerja tidak peduli atau memiliki sifat yang kurang baik	Pekerja	Bramantya dan Wiguna (2019)
Y13	Kurangnya penerapan APD	Pekerja	Wawancara (2024)
Y14	Pekerja kurang diseleksi dengan tepat	Pekerja	Bramantya dan Wiguna (2019)
Y15	Pekerja kurang pelatihan	Pekerja	Wawancara (2024)
Y16	Perencanaan yang kurang baik	Manajemen	Handayani dan Angreni (2020)
Y17	Pengendalian/kontrol kurang baik	Manajemen	Nagapan, dkk (2012)
Y18	Pengawasan yang kurang baik	Manajemen	Nagapan, dkk (2012)
Y19	Kurang koordinasi antar pihak manajemen	Manajemen	Nagapan, dkk (2012)
Y20	Terjadinya cuaca ekstrem	Eksternal	Handayani dan Angreni (2020)
Y21	Vandalisme atau perusakan	Eksternal	Nagapan, dkk (2012)
Y22	Pencurian	Eksternal	Fajar, S., dkk (2019)
Y23	Keterlambatan pembayaran dari <i>owner</i>	Eksternal	Wawancara (2024)

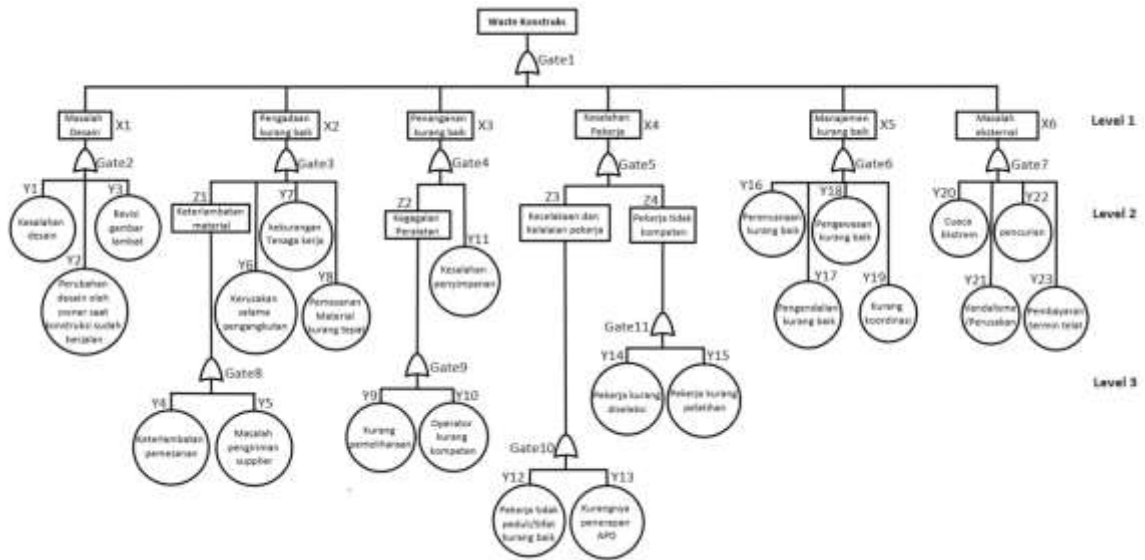
Skema proses analisis data merupakan tahapan pengolahan data hingga menghasilkan jawaban tujuan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema Proses Analisis Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil kuesioner I yang telah dilakukan, maka diketahui faktor-faktor penyebab *waste* menurut responden, sehingga dapat disusun pohon faktor penyebab *waste* seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil *Fault Tree Analysis*

Selanjutnya, untuk mengetahui hubungan antar *basic event* hingga *top event*, maka dilakukan penentuan *cut set* menggunakan metode algoritma MOCUS, sehingga didapatkan minimal *cut set* yang terdiri atas: Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7, Y8, Y9, Y10, Y11, Y12, Y13, Y14, Y15, Y16, Y17, Y18, Y19, Y20, Y21, Y22, Y23.

Pada kuesioner II, diperoleh data probabilitas dan nilai dampak setiap *basic event*. maka dilakukan simulasi *monte carlo* untuk memperoleh nilai probabilitas dan dampak setiap *basic event* yang menggambarkan kondisi seluruh sampel penelitian. Pada perhitungan probabilitas perhatikan jenis distribusi datanya. Sebagai contoh data *basic event* Y1 kesalahan desain akibat perencana kurang kompeten, dengan data probabilitasnya pada tabel 2.

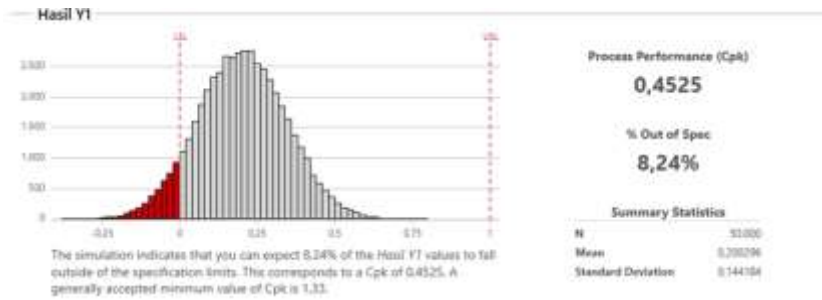
Tabel 2. Data Nilai Probabilitas Variabel Y1

Nama Proyek	Kesalahan desain akibat perencana kurang kompeten
Kampus sampoerna Academy Cipto	0,275
Perumahan Malibu Junction	0,1
Apartemen Princeton Boutique Living	0,5
RSIA. Stella Maris	0,1
Ruko J-Line Block C	0,075
Gedung Swalayan Wiego Warehouse	0,25
Toko Bolu meranti	0,1

Data Y1 di *input* pada simulasi *monte carlo*, maka dapat diperoleh jenis datanya yaitu distribusi normal ditunjukkan pada gambar 3, selanjutnya menjalankan simulasi sehingga diperoleh *output* rata-rata variabel Y1 sebesar 0,143. Seperti pada gambar 4.



Gambar 3. Hasil Jenis Distribusi Data Variabel Y1



Gambar 4. Hasil Output Nilai Probabilitas Variabel Y1

Kemudian, dengan tahapan yang sama, setiap data probabilitas dan dampak setiap variabel dianalisis menggunakan simulasi *monte carlo* sehingga menghasilkan nilai yang mewakili seluruh sampel penelitian. Nilai *expected monetary value* diperoleh dengan melakukan perkalian antara nilai probabilitas dan dampak setiap variabel. Nilai probabilitas, dampak dan hasil EMV setiap variabel ditampilkan pada tabel 3.

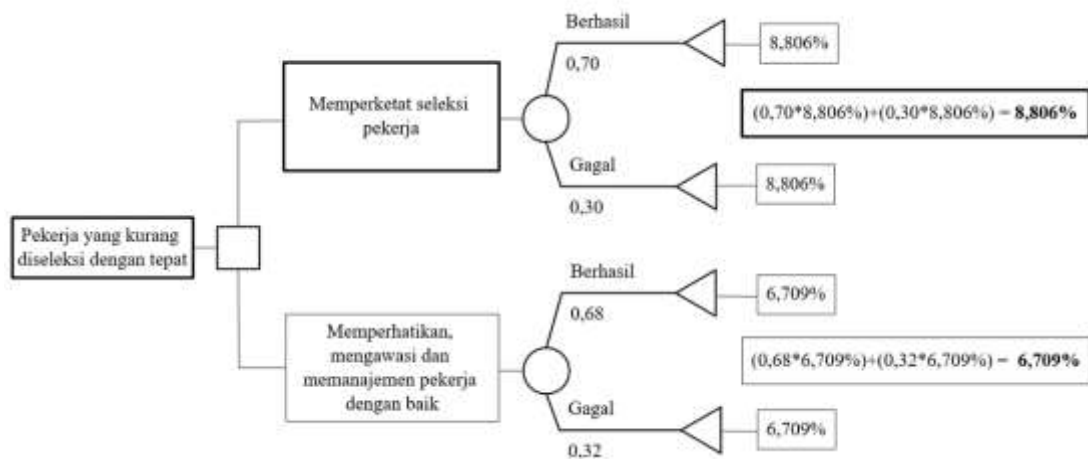
Tabel 3. Data Nilai Probabilitas, Dampak, dan EMV Setiap Variabel

Kode	Variabel	Kategori	Nilai Probabilitas	Nilai Dampak (%)	Nilai EMV (%)
Y1	Kesalahan desain akibat perencana kurang kompeten	Desain	0,200	16,009	3,202
Y2	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sedang berjalan	Desain	0,510	31,354	15,978
Y3	Revisi gambar yang lambat	Desain	0,283	11,998	3,395
Y4	Pemesanan material lama	Pengadaan	0,502	19,073	9,574
Y5	Masalah pengiriman oleh supplier	Pengadaan	0,501	15,920	7,976
Y6	Kerusakan selama pengangkutan material	Pengadaan	0,094	5,802	0,545
Y7	Kekurangan tenaga kerja	Pengadaan	0,345	25,649	8,849
Y8	Pemesanan material kurang tepat	Pengadaan	0,150	8,654	1,298
Y9	Kurangnya pemeliharaan peralatan	Penanganan	0,643	19,969	12,840
Y10	Operator peralatan kurang kompeten	Penanganan	0,357	18,381	6,562
Y11	Penyimpanan material yang salah	Penanganan	0,400	8,242	3,297
Y12	Pekerja tidak peduli atau memiliki sifat yang kurang baik	Pekerja	0,628	26,293	16,512
Y13	Kurangnya penerapan APD	Pekerja	0,374	16,306	6,098
Y14	Pekerja kurang diseleksi dengan tepat	Pekerja	0,625	28,753	17,971
Y15	Pekerja kurang pelatihan	Pekerja	0,376	18,994	7,142
Y16	Perencanaan yang kurang baik	Manajemen	0,229	30,347	6,949
Y17	Pengendalian/kontrol kurang baik	Manajemen	0,222	23,706	5,263
Y18	Pengawasan yang kurang baik	Manajemen	0,293	24,845	7,280
Y19	Kurang koordinasi antar pihak manajemen	Manajemen	0,270	32,859	8,859
Y20	Terjadinya cuaca ekstrem	Eksternal	0,399	33,882	13,519
Y21	Vandalisme atau perusakan	Eksternal	0,107	7,556	0,808
Y22	Pencurian	Eksternal	0,175	9,418	1,648
Y23	Keterlambatan pembayaran dari owner	Eksternal	0,319	27,344	8,723

Tabel 3 menunjukkan bahwa variabel dengan nilai probabilitas tertinggi adalah variabel Y9 yaitu kurangnya pemeliharaan peralatan sebesar 0,643. Variabel dengan nilai dampak terbesar adalah variabel Y20 yaitu terjadinya cuaca ekstrem sebesar 33,882%. Berdasarkan nilai EMV tertinggi maka didapatkan variabel utama penyebab *waste* konstruksi gedung di kota Medan yaitu variabel Y14 yaitu pekerja kurang diseleksi dengan tepat dengan nilai EMV sebesar 17,971%. Pekerja yang kurang diseleksi dengan tepat dapat memberikan dampak keterlambatan pekerjaan akibat kesalahan pekerja dan dapat mempengaruhi kualitas hasil pekerjaan, hal ini diperoleh berdasarkan data dampak hasil kuesioner II pada responden. Berdasarkan bagan *fault tree analysis*, variabel Y14 dapat mengakibatkan terjadinya *intermediate event* level 2 variabel Z4 yaitu pekerja yang tidak kompeten dan akhirnya sampai pada *intermediate event* level 1 variabel X4 yaitu kategori kesalahan pekerja yang dapat mengakibatkan terjadinya *top event* yaitu *waste* konstruksi. Penelitian

oleh Nagapan, dkk (2012) menyatakan bahwa pada kategori pekerja, yaitu kesalahan pekerja memperoleh skor frekuensi tertinggi dapat mengakibatkan *waste* konstruksi berbentuk fisik dan *non*-fisik. Pekerja yang tidak terampil cenderung membuat lebih banyak kesalahan karena kurangnya keterampilan dan sikap kerja yang buruk.

Selanjutnya dibutuhkan usaha mitigasi untuk mengurangi nilai probabilitas maupun dampak yang diakibatkan oleh faktor penyebab utama tersebut, maka dilanjutkan pada kuesioner III untuk memperoleh bentuk mitigasinya. Pada hasil kuesioner III, diperoleh dua upaya bentuk mitigasi yaitu Pertama, dengan memperketat seleksi pekerja, dengan bentuk kegiatannya melakukan uji coba keahlian pekerja dan meminta bukti pengalaman kerja atau keahlian yang dimiliki pekerja. Kedua, memperhatikan, mengawasi dan memajemen pekerja dengan baik, dengan bentuk kegiatannya melakukan *toolbox meeting* setiap paginya sebelum aktivitas pekerja dimulai, melakukan pengawasan yang ketat, menciptakan koordinasi yang baik antara mandor, pekerja, dan *staf* manajemen proyek, dan melakukan evaluasi dan penyesuaian pekerjaan dengan keahlian pekerja tersebut. Bentuk *decision tree* untuk faktor penyebab utama *waste* konstruksi dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. *Decision Tree* Mitigasi Faktor Penyebab Utama

Perhitungan analisis pohon keputusan ini dilakukan berdasarkan pada buku saku daring Teknik Asesmen Risiko berbasis ISO 31010 oleh Dr. Antonius Alijoyo, dkk. Berdasarkan hasil *decision tree* pada gambar 5, kedua usaha mitigasi memiliki nilai dampak positif untuk mengurangi nilai ancaman terjadinya faktor penyebab *waste*. Bentuk mitigasi dengan nilai tertinggi untuk dapat mengurangi ancaman akibat terjadinya faktor penyebab utama *waste* konstruksi adalah dengan memperketat seleksi pekerja, alternatif ini dapat memberikan pengurangan sebesar 8.806% akibat ancaman yang disebabkan terjadinya faktor penyebab utama.

SIMPULAN

Berdasarkan data dan hasil analisis penelitian yang telah dilakukan, simpulan yang dapat dipetik sesuai dengan tujuan penelitian adalah Faktor penyebab utama terjadinya *waste* pada proyek konstruksi gedung di kota Medan berdasarkan nilai EMV terbesar adalah variabel Y14, kategori pekerja yaitu pekerja kurang diseleksi dengan tepat. Faktor ini memiliki nilai probabilitas sebesar 0,625 dan nilai dampak sebesar 28,753% sehingga mendapatkan nilai EMV sebesar 17,971% . Bentuk mitigasi yang dilakukan untuk meminimalisir ancaman akibat terjadinya faktor penyebab utama *waste* konstruksi tersebut adalah dengan memperketat seleksi pekerja, mitigasi ini mampu mengurangi nilai EMV faktor utama *waste* konstruksi sebesar 8,806%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti berterima kasih kepada Politeknik Negeri Medan melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) yang telah memberikan kesempatan dan pendanaan dalam pelaksanaan Program Hibah Karya Ilmiah Mahasiswa (HAKIM) ini.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- 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.*
- 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., dan I Putu, A.W. 2019. Analisis Faktor Penyebab Waste pada Proyek Konstruksi Gedung di Kota Surabaya dengan Metode *Expected monetary value*. *Journal of Civil Engineering*, Vol. 34, No. 1, hal. 41-45.
- 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).*
- Grimaldi, S., Hillson, D., dan Rafele, C. 2005. *Understanding Project Risk Exposure Using the Two-Dimensional Risk Breakdown Matrix. PMI Global Congress Proceedings.*
- Juzailah, T. H., dan Ida, A. A. A. 2020. Analisis Potensi Pemborosan Material dan Solusi Penanganannya pada Proyek Pembangunan Gedung Bertingkat di Tangerang Selatan.
- Heizer, J. dan Render, B. 2001. *Operations Management 6th Edition. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.*
- Iriana, H. 2009. Analisis Penanganan Material Waste pada Proyek Perumahan di Surabaya. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah tahun 2009, hal. 147-154.
- 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.
- Sri, F., Veronika, H. P., dan Rudi, W. 2019. Evaluasi dan Analisa Sisa Material Konstruksi. *Jurnal Teknik*, Vol. 2, No. 2, hal. 125-135.
- Sudaryono. 2012. *Statistika Probabilitas: Teori dan Aplikasi*, Yogyakarta: ANDI.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., dan Vigil, S.A. 1993. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.*