

Risk Mitigation Strategies in Jumbo Bagging Process Using Failure Mode and Effect Analysis and Fault Tree Analysis Methods : Strategi Mitigasi Risiko pada Proses Jumbo Bagging dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis dan Fault Tree Analysis

Dhuha Cahya Izhaq

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Enny Aryanny

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

General Background: In industrial packaging systems, risk mitigation is essential to ensure operational continuity and product quality. **Specific Background:** At PT XYZ, the jumbo bag packaging process has been hindered by critical failures such as inaccurate weighing and process disruptions. **Knowledge Gap:** Existing risk management practices lack integrated analysis tools that link failure prioritization with root cause identification. **Aim:** This study aims to develop an effective risk mitigation strategy using a combination of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA). **Results:** The analysis identified high-risk factors, including sensor failures, equipment instability, and manual handling issues. The highest Risk Priority Numbers (RPNs) guided focus areas, while FTA traced these to their root causes. **Novelty:** The study proposes a comprehensive automation-based solution—Alternative 5—integrating a Hopper Translator, Loadcell Weighing System, Conveyor in Bag, Machine D modifications, and PLC control. **Implications:** Implementation of this strategy significantly enhanced accuracy, safety, efficiency, and worker satisfaction. These findings underscore the value of automation and preventive maintenance as a synergistic approach to reducing operational risk and optimizing industrial performance.

Highlights:

- Identifies root causes of failure using FMEA-FTA integration.
- Proposes automation as a key solution to high-risk issues.
- Enhances accuracy, safety, and efficiency in packaging.

Keywords: Risk Mitigation, FMEA, FTA, Automation, Packaging Process

Pendahuluan

Indonesia memandang sektor pertanian sebagai komponen utama dalam perekonomian, sehingga pemerintah menerapkan berbagai kebijakan untuk mendukung produksi di bidang ini [1]. Kebijakan pertanian secara umum bertujuan untuk memajukan sektor tersebut, meningkatkan produktivitas, dan mendorong efisiensi produksi. Sektor pertanian ini juga harus diprioritaskan karena berperan penting dalam menjaga ketahanan pangan [2]. Industri dalam sektor pertanian terus memainkan peran penting dalam pembangunan nasional karena berkontribusi besar terhadap stabilitas ekonomi dan kesejahteraan masyarakat [3]. Industri ini dituntut untuk selalu bersaing menemukan inovasi pada proses operasionalnya agar dapat mempertahankan stabilitas ekonomi negara dan juga meningkatkan keuntungan [4]. Dalam usaha untuk menemukan berbagai inovasi, perusahaan akan melakukan observasi dan identifikasi yang mendalam mengenai akar permasalahan yang dapat mengganggu proses operasional [5]. Dalam proses bisnisnya, gudang dan pengantongan adalah komponen penting dalam industri yang melibatkan penyimpanan dan pengemasan produk skala besar. Gudang sendiri adalah fasilitas yang bertujuan untuk menyimpan barang sebagai penyangga permintaan sehingga permintaan yang terjadi dapat dipenuhi [6].

PT XYZ merupakan Perusahaan yang bertanggung jawab untuk memproduksi dan menyalurkan pupuk Subsidi dengan produk utama Pupuk Anorganik. Salah satu produk pupuk subsidi adalah pupuk urea yang sangat berguna untuk nutrisi protein bagi tanaman agar membuat tanaman lebih hijau dan segar [7]. Dalam proses pergudangan dan pengantongan Urea, terdapat banyaknya permintaan konsumen yang membutuhkan pupuk dengan kemasan ukuran besar yang memiliki berat 1 ton. Dengan adanya permintaan ini mendorong perusahaan melakukan proses pengemasan pupuk Urea dalam *jumbo bag* di gudang untuk mempermudah penggunaan serta proses distribusi. Namun, dalam pelaksanaannya, proses pengantongan *jumbo bag* ini masih dilakukan secara manual dengan melibatkan tenaga kerja manusia. Hal ini mengakibatkan munculnya risiko kegagalan seperti kecelakaan saat pemindahan pupuk urea, gangguan produktivitas saat pengantongan, ketidaktepatan penimbangan, serta keterlambatan pengiriman produk urea.

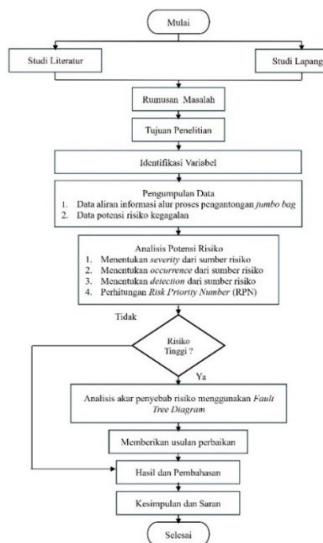
Berdasarkan permasalahan tersebut, maka penelitian ini dilakukan dengan melakukan analisis dan strategi mitigasi risiko lebih mendalam pada pengantongan *jumbo bag* 1 ton Urea dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* dan *Fault Tree Analysis*. Tujuannya mengetahui potensi risiko pada alur proses pengantongan *jumbo bag* di PT XYZ, serta bagaimana usulan perbaikan alur proses tersebut untuk meminimalkan potensi risiko yang muncul. FMEA merupakan metode yang digunakan untuk mengenali, memprioritaskan, dan mengurangi potensi masalah pada sistem, desain, atau proses sebelum masalah tersebut muncul [8]. Proses FMEA mencakup identifikasi potensi mode kegagalan, penentuan penyebab dan dampaknya, serta pemberian nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk setiap mode kegagalan berdasarkan tingkat keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detectability*) [9]. Setelah dilakukan perhitungan FMEA, maka dilakukan pemetaan risiko menggunakan matriks risiko. Matriks Risiko (*Risk Matrix*) adalah representasi visual yang menggabungkan skor tingkat kemungkinan dan tingkat dampak untuk menilai serta mengklasifikasikan tingkat risiko [10]. *Fault Tree Analysis* adalah diagram yang digunakan untuk melacak permasalahan hingga ke akar penyebabnya dengan menggambarkan proses yang terlibat dalam bentuk pohon [11]. Diagram pohon kegagalan dibuat untuk memetakan kondisi komponen sistem (*Basic Event*) serta menggambarkan hubungan antara kejadian dasar dan kejadian puncak [12]. FTA memungkinkan untuk mengidentifikasi akar penyebab utama dari kecelakaan atau kerusakan yang berkontribusi terhadap kegagalan suatu sistem pada seluruh alur proses pengantongan *jumbo bag* 1 ton [13].

Setelah menemukan akar permasalahan tersebut, dilakukan alternatif-alternatif untuk strategi mitigasi risiko demi meminimasi risiko dari alur proses pengantongan *jumbo bag* 1 ton. Analisis dari alternatif dilakukan menggunakan prinsip aspek mutu QDCMSE yaitu *quality, cost, delivery, safety, morale, environment* [14]. Kombinasi metode ini sangat relevan karena proses pengantongan *jumbo bag* melibatkan berbagai risiko, seperti kesalahan operasional, kegagalan peralatan, dan faktor lingkungan [15].

Pemilihan metode FMEA dan FTA dalam studi ini didasarkan pada kecocokannya dengan karakteristik proses pengantongan pupuk yang bersifat mekanis dan melibatkan interaksi manusia-mesin. FMEA digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan secara sistematis dan proaktif, sementara FTA membantu menelusuri akar penyebab kegagalan secara logis dan visual. Dibandingkan dengan metode lain seperti HAZOP atau Bowtie Analysis juga memiliki keunggulan tersendiri, HAZOP lebih tepat diterapkan pada sistem dengan aliran proses kimia yang kompleks, seperti di reaktor atau unit pemrosesan cair, sedangkan Bowtie Analysis lebih difokuskan pada manajemen pengendalian risiko dan bukan pada penelusuran teknis penyebab kegagalan. Kombinasi FMEA dan FTA dinilai paling efektif dalam memberikan gambaran menyeluruh serta mendukung pengembangan strategi mitigasi yang tepat dalam konteks proses pengantongan *jumbo bag* yang masih menggunakan tenaga manusia.

Metode

Pada tahap awal analisis, dilakukan pengumpulan data primer dan sekunder sebagai dasar dalam proses pengolahan data. Data primer dalam penelitian ini diperoleh melalui observasi langsung di lapangan, wawancara mendalam, serta penyebaran kuesioner kepada para ahli yang berkompeten di bidang pengelolaan dan pemeliharaan sistem pengantongan *jumbo bag*. Informan yang terlibat antara lain AVP Pemeliharaan Gudang dan Pengantongan, Staf *Candal* Pemeliharaan, SPV Gudang dan Pengantongan Urea, serta *Foreman* Gudang. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari dokumentasi internal perusahaan berupa data historis jumlah pengantongan, biaya pengantongan, serta catatan permasalahan yang sering terjadi dalam proses pengantongan *jumbo bag*. Kombinasi data primer dan sekunder ini digunakan untuk memperoleh gambaran yang komprehensif terhadap kondisi aktual di lapangan serta sebagai dasar dalam merumuskan solusi pengendalian risiko yang tepat. Setelah data dari kedua sumber tersebut telah tercukupi, maka dilanjutkan dengan proses analisis menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) untuk menilai tingkat risiko, serta FTA (*Fault Tree Analysis*) untuk mengidentifikasi akar penyebab dari risiko-risiko tersebut. Berdasarkan hasil identifikasi risiko yang paling signifikan, selanjutnya disusun rekomendasi perbaikan yang difokuskan pada lima aspek mutu, yaitu kualitas (*quality*), biaya (*cost*), ketepatan pengiriman (*delivery*), Moral (*Morale*), keselamatan kerja (*safety*), dan lingkungan (*environment*).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

A. Potensi Risiko

Untuk mendukung analisis risiko pada proses pengantongan urea *jumbo bag*, dilakukan identifikasi terhadap potensi risiko kegagalan melalui penyebaran kuesioner kepada para ahli yang berpengalaman di bidang tersebut dengan atribut di bawah ini.

Kegiatan	Top Event	Kode Risiko	Kejadian Risiko	Kode Risiko
Pemindahan Pupuk Urea	Kecelakaan saat pemindahan pupuk urea	R1	Banyak menggunakan alat berat	R11
			Kurangnya pelatihan penggunaan alat berat	R12
			Area kerja tidak diberi tanda peringatan	R13
Pengantongan Jumbo Bag	Kecelakaan kerja atau gangguan produktivitas saat pengantongan	R2	Beban kerja fisik berlebih	R21
			Pengantongan manual membutuhkan tenaga tambahan	R22
			Ketidaktercapaian target rate pengantongan	R23
			Waktu pengantongan lama	R24

			Kantong jatuh atau menimpa pekerja	R25
			Ketidakstabilan alat pengisian	R26
			Operator terpeleset ceceran pupuk di sekitar area kerja	R27
			Lingkungan terpapar debu atau zat kimia	R28
Penimbangan	Ketidaktepatan penimbangan	R3	Komponen mekanis timbangan macet	R31
			Timbangan terkena pupuk sehingga tidak presisi	R32
			Kabel sensor rusak karena korosi	R33
			Timbangan harus diulang karena hasil tidak akurat	R34
Pemindahan Produk Urea	Keterlambatan pengiriman produk urea	R4	Lokasi gudang penyimpanan berbeda	R41
			Lalu lintas alat berat meningkat	R42
			Tidak ada koordinasi antar divisi	R43
			Waktu tempuh antar gudang terlalu lama	R44

Tabel 1. Atribut-Atribut Potensi Risiko

B. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Tahap selanjutnya ialah melakukan analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menentukan prioritas dari risiko yang paling tinggi. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam suatu proses, mengevaluasi dampaknya, serta menetapkan tindakan perbaikan berdasarkan tingkat risiko. Dengan menggunakan FMEA, setiap potensi kegagalan akan dinilai berdasarkan tiga komponen utama, yaitu tingkat keparahan (*severity*), kemungkinan terjadinya (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detection*). Hasil dari ketiga komponen ini akan dikalikan untuk mendapatkan nilai *Risk Priority Number* (RPN), yang menjadi acuan dalam menentukan prioritas penanganan risiko.

Kode Risiko	Risiko	S	O	D	RPN
R11	Banyak menggunakan alat berat	6	3	3	54
R12	Kurangnya pelatihan penggunaan alat berat	5	4	3	60
R13	Area kerja tidak diberi tanda peringatan	4	3	3	36
R21	Beban kerja fisik berlebih	9	8	4	288
R22	Pengantongan manual membutuhkan tenaga tambahan	8	7	3	168
R23	Ketidaktercapaian target rate pengantongan	9	8	5	360
R24	Waktu pengantongan lama	9	8	4	288
R25	Kantong jatuh atau menimpa pekerja	7	7	3	147
R26	Ketidakstabilan alat pengisian	7	7	4	196
R27	Operator terpeleset ceceran pupuk di sekitar area kerja	8	8	4	256
R28	Lingkungan terpapar debu atau zat kimia	7	6	3	126
R31	Komponen mekanis timbangan macet	9	8	5	360
R32	Timbangan terkena pupuk sehingga tidak presisi	9	9	5	405
R33	Kabel sensor rusak karena korosi	9	8	6	432
R34	Timbangan harus diulang karena hasil tidak akurat	8	7	2	112
R41	Lokasi gudang penyimpanan berbeda	4	5	1	20
R42	Lalu lintas alat berat meningkat	4	4	2	32
R43	Tidak ada koordinasi antar divisi	4	3	2	24
R44	Waktu tempuh antar gudang terlalu lama	3	3	2	18

Tabel 2. Identifikasi Nilai *Severity*, *Occurrence*, *Detection*, dan *Risk Priority Number*

Pada Tabel 2 berisi penilaian tingkat keparahan (*severity*), kemungkinan terjadinya (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detection*) dari 5 orang yang ditentukan secara *purposive*, yaitu para ahli seperti AVP Pemeliharaan Gudang dan Pengantongan, Staf Candal Pemeliharaan, SPV Gudang dan Pengantongan Urea, dan Foreman Gudang yang telah memiliki pengalaman kerja di bidang tersebut. Perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) dengan rumus sebagai berikut:

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (1)$$

Dengan contoh perhitungan sebagai berikut:

$$R11 = 6 \times 3 \times 3 = 54$$

Berdasarkan tabel di atas, didapatkan nilai peringkat tertinggi pada perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) ada pada proses penimbangan dan pengantongan *jumbo bag*. Pada proses penimbangan produk, didapatkan kejadian risiko kabel sensor rusak karena korosi (R33) dengan nilai RPN sebesar 432, timbangan terkena pupuk sehingga tidak presisi (R32) sebesar 402, komponen mekanis timbangan macet (R31) sebesar 360, serta timbangan harus diulang karena hasil tidak akurat (R34) sebesar 112. Sedangkan pada proses pengantongan *jumbo bag*, didapatkan kejadian risiko ketidaktercapaian target rate pengantongan (R23) dengan nilai RPN sebesar 360, beban kerja fisik berlebih (R21) dan waktu pengantongan lama (R24) sebesar 288, terpeleset ceciran pupuk di sekitar area kerja (R27) sebesar 256, ketidakstabilan alat pengisian (R26) sebesar 196, pengantongan manual membutuhkan tenaga tambahan (R22) sebesar 168, kantong jatuh atau menimpa pekerja (R25) sebesar 147, serta lingkungan terpapar debu atau zat kimia (R28) sebesar 126.

		Dampak (Severity)				
		1 = Sangat Ringan	2 = Ringan	3 = Sedang	4 = Berat	5 = Sangat Berat
Kemungkinan (Occurrence)	1 = Sangat Kecil					
	2 = Kecil		R13, R42, R43, R41	R12, R11		
	3 = Sedang		R41		R28	
	4 = Besar				R27, R26, R22, R25, R34	R33, R23, R31, R21, R24,
	5 = Sangat Besar					R32

Tabel 3. Identifikasi Nilai Severity, Occurrence, Detection, dan Risk Priority Number

Tabel 3 adalah tabel pemetaan risiko dilakukan dengan mengacu pada dua kriteria utama, yakni tingkat keparahan (*severity*) dan kemungkinan terjadinya (*occurrence*). Risiko kemudian diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu risiko rendah (*low*), sedang (*medium*), dan tinggi (*high*). Seluruh 19 risiko yang teridentifikasi dianalisis dan dipetakan guna mengetahui level masing-masing risiko secara lebih sistematis.

Rank	Kode Risiko	Kejadian Risiko	S	O	D	RPN	Kategori Risiko
1	R33	Kabel sensor rusak karena korosi	9	8	6	432	Sangat Tinggi
2	R32	Timbangan terkena pupuk sehingga tidak presisi	9	9	5	405	Sangat Tinggi
3	R23	Ketidaktercapaian target rate pengantongan	9	8	5	360	Sangat Tinggi
4	R31	Komponen mekanis timbangan macet	9	8	5	360	Sangat Tinggi
5	R21	Beban kerja fisik berlebih	9	8	4	288	Sangat Tinggi
6	R24	Waktu pengantongan lama	9	8	4	288	Sangat Tinggi
7	R27	Terpeleset ceciran pupuk di sekitar area kerja	8	8	4	256	Tinggi
8	R26	Ketidakstabilan alat pengisian	7	7	4	196	Tinggi
9	R22	Pengantongan manual membutuhkan tenaga tambahan	8	7	3	168	Tinggi
10	R25	Kantong jatuh atau menimpa pekerja	7	7	3	147	Tinggi
11	R28	Lingkungan terpapar debu atau zat kimia	7	6	3	126	Tinggi
12	R34	Timbangan harus diulang karena hasil tidak akurat	8	7	2	112	Tinggi
13	R12	Kurangnya pelatihan penggunaan alat berat	5	4	3	60	Rendah
14	R11	Banyak menggunakan alat berat	6	3	3	54	Rendah
15	R13	Area kerja tidak diberi tanda peringatan	4	3	3	36	Rendah

16	R42	Lalu lintas alat berat meningkat	4	4	2	32	Rendah
17	R43	Tidak ada koordinasi antar divisi	4	3	2	24	Rendah
18	R41	Lokasi gudang penyimpanan berbeda	4	5	1	20	Rendah
19	R44	Waktu tempuh antar gudang terlalu lama	3	3	2	18	Rendah

Tabel 4. Peringkat RPN

Dari hasil pemetaan risiko dapat diketahui bahwa kejadian risiko dari proses pengantongan seperti beban kerja fisik berlebih (R21) dengan RPN 288, ketidaktercapaian target rate pengantongan (R23) RPN 360, dan waktu pengantongan lama (R24) RPN 288 serta proses penimbangan produk seperti kabel sensor rusak karena korosi (R33) RPN 432, timbangan terkena pupuk sehingga tidak presisi (R32) RPN 405, dan komponen mekanis timbangan macet (R31) RPN 360 berada di zona warna merah dengan tingkat sangat tinggi yang berarti harus segera dilakukan tindakan langusng. Kemudian untuk kejadian risiko dari proses pengantongan seperti pengantongan manual membutuhkan tenaga tambahan (R22) dengan RPN 168, kantong jatuh atau menimpa pekerja (R25) RPN 147, ketidakstabilan alat pengisian (R26) RPN 196, operator terpeleset ceceran pupuk di sekitar area kerja (R27) RPN 256 dan lingkungan terpapar debu atau zat kimia (R28) RPN 126 serta proses penimbangan produk seperti timbangan harus diulang karena hasil tidak akurat (R34) RPN 112 berada di zona warna oranye dengan tingkat tinggi yang berarti harus dilakukan tindakan perbaikan segera. Sedangkan untuk kejadian risiko yang lain berada di zona warna hijau muda masih bisa untuk ditoleransi.

C. Fault Tree Analysis (FTA)

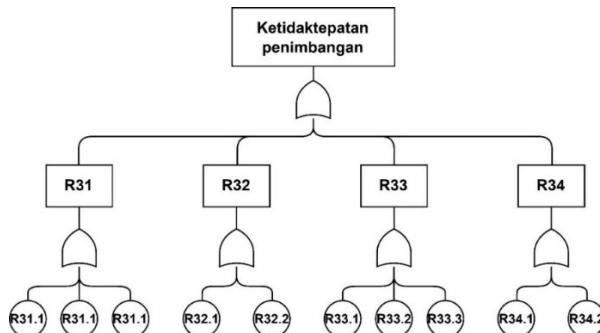
Setelah dilakukan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) melalui metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), diketahui bahwa nilai RPN di atas 100 menandakan perlunya tindakan perbaikan segera. Nilai RPN yang tinggi ditandai dengan warna merah (risiko sangat tinggi) dan warna oranye (risiko sedang). Risiko-risiko tersebut terutama muncul pada proses pengantongan dan penimbangan *jumbo bag*, yang merupakan tahapan krusial dalam menjamin kualitas serta keselamatan kerja. Oleh karena itu, diperlukan analisis lanjutan untuk menelusuri akar permasalahan secara lebih mendalam. Analisis ini dilakukan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA), yang berfungsi untuk mengidentifikasi serta menelusuri penyebab dasar dari permasalahan secara sistematis. Berikut merupakan penyebab kejadian risiko pada proses pengantongan dan penimbangan *jumbo bag*

Kegiatan	Risiko Kegagalan (<i>Top Event</i>)	Penyebab Kegagalan	Akar Penyebab (<i>Basic Event</i>)
Penimbangan	Ketidaktepatan penimbangan	Komponen mekanis timbangan macet	<ul style="list-style-type: none"> Kurangnya pelumas pada komponen, Tidak ada jadwal perawatan, Komponen aus karena umur pakai
		Timbangan terkena pupuk sehingga tidak presisi	<ul style="list-style-type: none"> Tidak ada pelindung timbangan, Tumpahan pupuk yang tidak segera dibersihkan
		Kabel sensor rusak karena korosi	<ul style="list-style-type: none"> Lingkungan kerja yang tercerer pupuk, Bahan kabel yang tidak tahan korosi, Tidak ada penggantian kabel secara berkala
		Timbangan harus diulang karena hasil tidak akurat	<ul style="list-style-type: none"> Timbangan belum dikalibrasi, Operator tidak mengikuti SOP
Pengantongan <i>Jumbo Bag</i>	Kecelakaan kerja atau gangguan produktivitas saat pengantongan	Beban kerja fisik berlebih	<ul style="list-style-type: none"> Kekurangan tenaga kerja, Pengisian pupuk menggunakan sekop (<i>manual</i>)
		Pengantongan manual membutuhkan tenaga tambahan	<ul style="list-style-type: none"> Tidak tersedia mesin otomatis atau semi otomatis
		Ketidaktercapaian target rate pengantongan	<ul style="list-style-type: none"> Produktivitas operator rendah akibat kelelahan Waktu <i>idle</i> akibat antrean atau kerusakan alat
		Waktu pengantongan lama	<ul style="list-style-type: none"> Hambatan teknis pada alat, Penataan alur kerja tidak efisien
		Kantong jatuh atau menimpa pekerja	<ul style="list-style-type: none"> Tidak adanya pembatas atau penyangga, Penempatan kantong kurang aman

		Ketidakstabilan alat pengisian	<ul style="list-style-type: none"> Pengisian menggunakan sekop tidak merata, Alat tidak dikalibrasi dengan baik
		Operator terpeleset ceceran pupuk di sekitar area kerja	<ul style="list-style-type: none"> Banyaknya pupuk tercecer saat pengisian, Tidak ada pembersihan ceceran
		Lingkungan terpapar debu atau zat kimia	<ul style="list-style-type: none"> Area kerja terlalu dekat dengan sumber polutan, Area kerja kurang sirkulasi udara

Tabel 5. Akar Penyebab Risiko Pengantongan dan Penimbangan Jumbo Bag

1. Ketidakstabilan Penimbangan



Gambar 2. Fault Tree Ketidakstabilan Penimbangan

Di bawah ini merupakan keterangan mengenai nama kejadian dari kode kejadian gambar 2:

Kode Kejadian	Nama Kejadian
R31	Komponen mekanis timbangan macet
R32	Timbangan terkena pupuk sehingga tidak presisi
R33	Kabel sensor rusak karena korosi
R34	Timbangan harus diulang karena hasil tidak akurat
R31.1	Kurangnya pelumas pada komponen
R31.2	Tidak ada jadwal perawatan
R31.3	Komponen aus karena umur pakai
R32.1	Tidak ada pelindung timbangan
R32.2	Tumpahan pupuk yang tidak segera dibersihkan
R33.1	Lingkungan kerja yang tercecer pupuk
R33.2	Bahan kabel yang tidak tahan korosi
R33.3	Tidak ada penggantian kabel secara berkala
R34.1	Timbangan belum dikalibrasi
R34.2	Operator tidak mengikuti SOP

Tabel 5. Keterangan Fault Tree Ketidakstabilan Penimbangan

Berdasarkan Gambar 2 dan Tabel 5, terdapat empat penyebab utama yang menjadi faktor ketidakstabilan, yaitu: Komponen mekanis timbangan macet (R31), Timbangan terkena pupuk sehingga tidak presisi (R32), Kabel sensor rusak karena korosi (R33), dan Timbangan harus diulang karena hasil tidak akurat (R34). Masing-masing faktor utama memiliki penyebab dasar (*basic events*) yang saling terkait.

a. Komponen Mekanis Timbangan Macet (R31)

Penyebab ini merupakan akibat dari kurangnya pelumas pada komponen (R31.1), tidak ada jadwal perawatan (R31.2), serta komponen aus karena umur pakai (R31.3). Ini menunjukkan bahwa aspek pemeliharaan preventif sangat krusial untuk mencegah kerusakan fungsional timbangan.

b. Timbangan Terkena Pupuk Sehingga Tidak Presisi (R32)

Ketidakpresisan diakibatkan oleh tidak ada pelindung timbangan (R32.1), serta tumpahan pupuk yang tidak segera dibersihkan (R32.2). Hal ini menunjukkan lemahnya pengendalian kebersihan area kerja dan perlindungan terhadap alat.

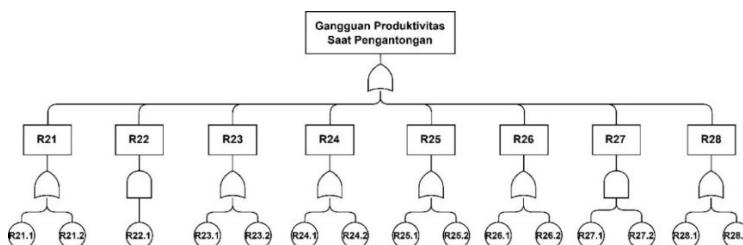
c. Kabel Sensor Rusak karena Korosi (R33)

Penyebab kerusakan sensor meliputi lingkungan kerja yang tercecer pupuk (R33.1), bahan kabel yang tidak tahan korosi (R33.2), serta tidak ada penggantian kabel secara berkala (R33.3). Kerusakan ini berpengaruh langsung terhadap data timbangan.

d. Timbangan Harus Diulang karena Hasil Tidak Akurat (R34)

Ketidakakuratan di tahap ini dipicu oleh Timbangan belum dikalibrasi (R34.1) serta operator tidak mengikuti SOP (R34.2). Faktor ini menekankan pentingnya standar kerja dan kedisiplinan operator.

2. Gangguan Produktivitas Saat Pengantongan



Gambar 3. Fault Tree Gangguan Produktivitas Saat Pengantongan

Di bawah ini merupakan keterangan mengenai nama kejadian dari kode kejadian gambar 3:

Kode Kejadian	Nama Kejadian
R21	Beban kerja fisik berlebih
R22	Pengantongan manual membutuhkan tenaga tambahan
R23	Ketidaktercapaian target rate pengantongan
R24	Waktu pengantongan lama
R25	Kantong jatuh atau menimpa pekerja
R26	Ketidakstabilan alat pengisian
R27	Operator terpeleset ceceran pupuk di sekitar area kerja
R28	Lingkungan terpapar debu atau zat kimia
R21.1	Kekurangan tenaga kerja
R21.2	Pengisian pupuk menggunakan sekop (<i>manual</i>)
R22.1	Tidak tersedia mesin otomatis atau semi otomatis
R23.1	Produktivitas operator rendah akibat kelelahan
R23.2	Waktu <i>idle</i> akibat antrean atau kerusakan alat
R24.1	Hambatan teknis pada alat
R24.2	Penataan alur kerja tidak efisien
R25.1	Tidak adanya pembatas atau penyangga
R25.2	Penempatan kantong kurang aman
R26.1	Pengisian menggunakan sekop tidak merata
R26.2	Alat tidak dikalibrasi dengan baik
R27.1	Banyaknya pupuk tercecer saat pengisian
R27.2	Tidak ada pembersihan ceceran
R28.1	Area kerja terlalu dekat dengan sumber polutan,
R28.2	Area kerja kurang sirkulasi udara

Tabel 6. Keterangan Fault Tree Gangguan Produktivitas Saat Pengantongan

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 6, ditemukan 8 faktor utama (kode R21 hingga R28) beserta beberapa penyebab dasarnya (*basic events*). Masing-masing faktor ini berkontribusi terhadap terhambatnya proses pengantongan.

1. Beban Kerja Fisik Berlebih (R21)

Penyebab utama dari faktor ini adalah kekurangan tenaga kerja (R21.1) dan pengisian pupuk menggunakan sekop (*manual*) (R21.2) sehingga menyebabkan beban kerja berlebihan pada operator.

2. Pengantongan Manual Membutuhkan Tenaga Tambahan (R22)

Diperparah oleh tidak adanya mesin otomatis atau semi otomatis (R22.1), yang menyebabkan keterlambatan dan ketidakefisienan.

3. Ketidaktercapaian Target Rate Pengantongan (R23)

Penyebabnya meliputi produktivitas operator rendah akibat kelelahan (R23.1), serta waktu *idle* akibat antrean atau kerusakan alat (R23.2), yang berkontribusi terhadap ketidaktercapaian target kerja.

4. Waktu Pengantongan Lama (R24)

Waktu yang lama dalam proses ini disebabkan oleh hambatan teknis pada alat (R24.1), serta penataan alur kerja tidak efisien (R24.2), sehingga waktu kerja menjadi tidak optimal.

5. Kantong Jatuh atau Menimpa Pekerja (R25)

Hal ini disebabkan oleh tidak adanya pembatas atau penyangga (R25.1) dan penempatan kantong yang kurang aman (R25.2). Kedua kondisi ini dapat menyebabkan kecelakaan kerja.

6. Ketidakstabilan Alat Pengisian (R26)

Diperparah oleh Pengisian menggunakan sekop tidak merata (R26.1), serta alat tidak dikalibrasi dengan baik (R26.2), menyebabkan pengisian tidak stabil.

7. Operator terpeleset Ceceran Pupuk (R27)

Faktor penyebab utama adalah Banyaknya pupuk tercecer saat pengisian (R27.1) yang dikarenakan tidak adanya pembersihan rutin (R27.2), sehingga menimbulkan potensi kecelakaan.

8. Lingkungan Terpapar Debu atau Zat Kimia (R28)

Faktor ini terkait langsung dengan Area kerja terlalu dekat dengan sumber polutan (R28.1) serta tidak tersedianya alat ventilasi udara (R28.2), sehingga meningkatkan risiko paparan zat berbahaya.

D. Usulan Pengendalian Risiko

Setelah dilakukan identifikasi dan analisis risiko menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA), diperoleh berbagai potensi risiko tinggi yang dapat mengganggu keselamatan kerja maupun efisiensi proses pengantongan. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengendalian risiko yang terstruktur untuk mencegah terjadinya kecelakaan serta meningkatkan mutu operasional. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam menyusun usulan pengendalian ini adalah prinsip Aspek MUTU QDCMSE yang mencakup aspek-aspek penting dalam sistem manajemen keselamatan dan mutu kerja. Berikut merupakan alternatif pengendalian risiko yang dapat diimplementasikan untuk mengurangi potensi risiko pengantongan dan penimbangan *jumbo bag* yang masih menggunakan tenaga manusia:

1. Alternatif 1 (Pengantongan *Jumbo Bag* menggunakan *Hopper Portable* dengan timbangan *Loadcell*)

Aspek MUTU	Deskripsi
Quality	Kualitas akurasi timbangan bagus dengan pengisian yang konsisten sehingga muatan produk sesuai
Cost	Biaya pengantongan <i>Jumbo Bag</i> yang relatif mahal
Delivery	Waktu Pengantongan <i>Jumbo Bag</i> yang cepat
Safety	Risiko cedera akibat kelelahan dan tertabrak alat berat berkurang
Environment	Ceceran produk berkurang
Moral	Tingkat kepuasan TKO naik karena beban kerja ringan
Evaluasi Teknis	<ul style="list-style-type: none">• Sistem loadcell memberikan lingkungan kerja yang aman dan nyaman (+)• Biaya dan waktu tinggi (-)• Terdapat banyak cecutan produk di sekitar area pengantongan (-)• Risiko tenaga kerja terkena alat berat (-)• Tingkat kepuasan TKO masih rendah (-)

Tabel 7. Aspek MUTU Alternatif 1**2. Alternatif 2 (Pengantongan *Jumbo Bag* menggunakan *Hopper Translator* dengan timbangan *Loadcell*)**

Aspek MUTU	Deskripsi
------------	-----------

Quality	Kualitas akurasi timbangan bagus dengan pengisian yang konsisten sehingga muatan produk sesuai
Cost	Biaya pengantongan <i>Jumbo Bag</i> yang relatif murah
Delivery	Waktu Pengantongan <i>Jumbo Bag</i> yang lebih cepat
Safety	Risiko cedera akibat kelelahan dan tertabrak alat berat berkurang
Environment	Ceceran produk berkurang agar tidak terjadi pemborosan
Moral	Tingkat kepuasan TKO naik karena beban kerja lebih ringan
Evaluasi Teknis	<ul style="list-style-type: none"> • Kualitas akurasi berat bagus (+) • Biaya dan waktu pengantongan rendah (+) • Risiko kecil karena terotomatisasi (+) • Mengurangi pemborosan dan memberikan lingkungan kerja yang aman dan nyaman (+) • Sistem loadcell memberikan lingkungan kerja yang aman dan nyaman (+) • Peralatan dan kondisi kerja belum layak (-)

Tabel 8. Aspek MUTU Alternatif 2

3. Alternatif 3 (Pengantongan *Jumbo Bag* menggunakan *Hopper Translator* dengan timbangan *Loadcell* dan *Conveyor in Bag*)

Aspek MUTU	Deskripsi
Quality	Kualitas akurasi timbangan bagus dengan pengisian yang konsisten sehingga muatan produk sesuai
Cost	Biaya pengantongan <i>Jumbo Bag</i> yang relatif murah
Delivery	Waktu Pengantongan <i>Jumbo Bag</i> yang sangat cepat
Safety	Risiko cedera akibat kelelahan dan tertabrak alat berat berkurang
Environment	Ceceran produk berkurang agar tidak terjadi pemborosan
Moral	Tingkat kepuasan TKO naik karena beban kerja lebih ringan
Evaluasi Teknis	<ul style="list-style-type: none"> • Kualitas akurasi berat bagus (+) • Biaya dan waktu pengantongan rendah (+) • Risiko kecil karena terotomatisasi (+) • Mengurangi pemborosan dan memberikan lingkungan kerja yang aman dan nyaman (+) • Peralatan dan kondisi kerja belum layak (-)

Tabel 9. Aspek MUTU Alternatif 3

4. Alternatif 4 (Pengantongan *Jumbo Bag* menggunakan *Hopper Translator* dengan timbangan *Loadcell*, *Conveyor in Bag*, dan Modifikasi Mesin D)

Aspek MUTU	Deskripsi
Quality	Kualitas akurasi timbangan bagus dengan pengisian yang konsisten sehingga muatan produk sesuai dan tidak ada yang melakukan penimbangan ulang
Cost	Biaya pengantongan <i>Jumbo Bag</i> yang relatif murah
Delivery	Waktu Pengantongan <i>Jumbo Bag</i> yang sangat cepat
Safety	Risiko cedera akibat kelelahan dan tertabrak alat berat sangat kecil karena proses terotomatisasi dan terkontrol
Environment	Ceceran produk sangat minim agar tidak terjadi pemborosan
Moral	Tingkat kepuasan TKO naik karena beban kerja sangat ringan
Evaluasi Teknis	<ul style="list-style-type: none"> • Kualitas akurasi berat bagus (+) • Biaya dan waktu pengantongan rendah (+) • Risiko kecil karena terotomatisasi (+) • Mengurangi pemborosan dan memberikan lingkungan kerja yang aman dan nyaman (+) • Sistem loadcell memberikan lingkungan kerja yang aman dan nyaman (+) • Peralatan dan kondisi kerja belum layak (-)

Tabel 10 Aspek MUTU Alternatif 4

5. Alternatif 5 (Pengantongan *Jumbo Bag* menggunakan *Hopper Translator* dengan timbangan *Loadcell*, *Conveyor in Bag*, Modifikasi Mesin D dan dilengkapi *Controller Automatic PLC*)

Aspek MUTU	Deskripsi

<i>Quality</i>	Kualitas akurasi timbangan bagus dengan pengisian yang konsisten sehingga muatan produk sesuai dan tidak ada yang melakukan penimbangan ulang
<i>Cost</i>	Biaya pengantongan <i>Jumbo Bag</i> yang relatif murah
<i>Delivery</i>	Waktu Pengantongan <i>Jumbo Bag</i> yang sangat cepat
<i>Safety</i>	Risiko cedera akibat kelelahan dan tertabrak alat berat sangat kecil karena proses terotomatisasi dan terkontrol (<i>Safe Condition</i>)
<i>Environment</i>	Ceceran produk sangat minim agar tidak terjadi pemborosan
<i>Moral</i>	Tingkat kepuasan TKO naik karena beban kerja sangat ringan
Evaluasi Teknis	<ul style="list-style-type: none"> • Kualitas akurasi berat bagus (+) • Biaya dan waktu pengantongan rendah (+) • Alur pengantongan lebih singkat (+) • Risiko kecil karena terotomatisasi (+) • Mengurangi pemborosan dan memberikan lingkungan kerja yang aman dan nyaman (+) • Sistem loadcell memberikan lingkungan kerja yang aman dan nyaman (+) • Alat pengontrol otomatis (PLC) (+)

Tabel 11. Aspek MUTU Alternatif 5

Berdasarkan hasil analisis FMEA dan FTA, ditemukan risiko signifikan seperti kecelakaan kerja, ketidaktepatan penimbangan, keterlambatan pengiriman, dan gangguan produktivitas. Alternatif 5 dipilih sebagai solusi usulan pengendalian risiko karena menawarkan sistem yang lebih terotomatisasi dan terkontrol, yakni proses pengantongan dan penimbangan dengan integrasi *Hopper Translator*, Timbangan *Loadcell*, *Conveyor in Bag*, Modifikasi Mesin D, dan *Controller PLC*. Evaluasi menggunakan aspek MUTU menunjukkan bahwa alternatif ini:

- Kualitas: Meningkatkan akurasi penimbangan dan mengurangi pengulangan.
- Biaya: Hemat operasional meski butuh investasi awal.
- Waktu: Proses lebih cepat dan produktif.
- Keselamatan: Minim risiko cedera karena pengurangan interaksi manual.
- Lingkungan: Lebih bersih, minim tumpahan.
- Moral: Beban kerja lebih ringan, meningkatkan kepuasan kerja.
- Teknis: Efisien, aman, akurat, dan mengurangi kesalahan serta kelelahan.

Diasumsikan bahwa perhitungan *cost-benefit* dari alternatif 5 otomatisasi

	Komponen	Nilai
Pengeluaran	Biaya Investasi Awal	Rp750.000.000
	Biaya operasional tambahan (listrik, perawatan)	Rp50.000.000
	Total Biaya 5 tahun	Rp1.000.000.000
Penghematan	Penghematan biaya tenaga kerja	Rp200.000.000
	Pengurangan downtime dan kerusakan	Rp100.000.000
	Peningkatan output/profit	Rp150.000.000
	Total manfaat per tahun	Rp450.000.000
	Total manfaat 5 tahun	Rp2.250.000.000

Perhitungan *cost-benefit ratio*:

$$CBR = \frac{\text{Penghematan}}{\text{Pengeluaran}} = \frac{2.250.000.000}{1.000.000.000} = 2,25$$

Karena nilai CBR > 1 berarti investasi layak secara ekonomis. Hal ini menunjukkan bahwa otomatisasi bukan hanya mengurangi risiko, tetapi juga menghasilkan keuntungan finansial yang signifikan dalam jangka menengah.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, potensi risiko pada alur proses pengantongan *jumbo bag* di PT XYZ meliputi kecelakaan saat pemindahan pupuk, gangguan produktivitas saat pengantongan, ketidaktepatan penimbangan, dan keterlambatan pengiriman produk. Risiko tertinggi teridentifikasi pada proses pengantongan dan penimbangan, khususnya terkait gangguan produktivitas dan ketidaktepatan hasil timbangan, yang berpotensi mengganggu kelancaran proses serta membahayakan keselamatan kerja. Berdasarkan hasil analisis FMEA dan FTA, risiko-risiko signifikan tersebut memerlukan penanganan strategis, sehingga dipilih Alternatif 5 sebagai solusi mitigasi, yaitu dengan menerapkan sistem pengantongan otomatis

menggunakan *Hopper Translator*, *Loadcell Weighing System*, *Conveyor in Bag*, modifikasi Mesin D, serta alat kontrol berbasis PLC. Pemilihan alternatif ini dilakukan berdasarkan identifikasi objektif terhadap beberapa kriteria keberhasilan yang telah ditentukan. Pertama, dari segi akurasi, sistem baru menunjukkan proses penimbangan yang lebih stabil dengan toleransi penyimpangan yang lebih rendah. Kedua, dalam aspek efisiensi waktu, terjadi peningkatan signifikan melalui pengurangan waktu siklus kerja selama proses pengantongan. Ketiga, dari sisi keselamatan kerja, risiko cedera dan kecelakaan menurun akibat berkurangnya intervensi manual dan potensi bahaya fisik dalam proses kerja. Terakhir, dari aspek kepuasan tenaga kerja, implementasi sistem otomatisasi ini berkontribusi pada penurunan beban kerja fisik serta mendorong persepsi positif terhadap lingkungan kerja yang lebih aman dan efisien. Implementasi solusi ini mampu meningkatkan akurasi penimbangan, efisiensi waktu, keselamatan kerja, serta kepuasan tenaga kerja secara keseluruhan. Namun, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan seperti penilaian risiko masih mengandalkan persepsi subjektif dari responden melalui wawancara dan kuesioner, sehingga memungkinkan adanya bias. Selain itu, evaluasi implementasi sistem otomatisasi pengantongan *jumbo bag* dilakukan dalam skala terbatas dan belum mencakup kondisi operasional jangka panjang. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan perhitungan *cut set method* untuk mengetahui kombinasi minimal dari *basic event* secara kuantitatif. Selain itu, penerapan *Fishbone Diagram* disarankan sebagai dasar mengidentifikasi penyebab risiko, karena mampu mengelompokkan penyebab risiko secara lebih terstruktur ke dalam kategori faktor manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan. Pendekatan ini dinilai lebih komprehensif untuk mendukung upaya perbaikan berkelanjutan di tahap awal eksplorasi risiko.

References

- [1] S. Y. Setiani, T. Pratiwi, and A. R. Fitrianto, "Tenaga Muda Pertanian dan Ketahanan Pangan di Indonesia," *Cakrawala*, vol. 15, no. 2, pp. 95–108, 2021, doi: 10.32781/cakrawala.v15i2.386.
- [2] I. Kholis and K. Setiaji, "Efektivitas Kebijakan Subsidi Pupuk pada Petani Padi," *Economics Education Analysis Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 503–515, 2020, doi: 10.15294/eeaj.v9i2.39543.
- [3] M. N. Nadziroh, "Peran Sektor Pertanian dalam Pertumbuhan Ekonomi di Kabupaten Magetan," *Jurnal Agristan*, vol. 2, no. 1, pp. 52–60, 2020, doi: 10.37058/ja.v2i1.2348.
- [4] L. Noviani, "Pengaruh Inovasi Produk, Kreativitas Produk, dan Kualitas Produk terhadap Keunggulan Bersaing (Studi Kasus pada Kerajinan Tikar Eceng Gondok 'Liar')," *Jurnal Manajemen dan Bisnis*, vol. 2, no. 1, pp. 2076–2086, 2020. [Online]. Available: <http://ejournal.lppm-unbaja.ac.id/index.php/jmb/article/view/982>
- [5] Y. S. Munthe, M. Hasugian, and Y. R. Zebua, "Analisis Manajemen Risiko pada UMKM Donat Kentang Syifa Medan," *Jurnal Intelektual Insan Cendikia*, vol. 2, no. 1, pp. 363–373, 2024.
- [6] F. Fadhilah, R. F. Suryawan, L. Suryaningsih, and L. Lestari, "Teori Gudang Digunakan dalam Proses Pergudangan (Tinjauan Empat Aspek)," *Jurnal Transportasi, Logistik, dan Aviasi*, vol. 1, no. 2, pp. 153–156, 2022, doi: 10.52909/jtla.v1i2.63.
- [7] B. F. Langai, I. Dewi, and G. Riyani, "Pengaruh Pemberian Pupuk Urea terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sorgum di Lahan Rawa Lebak," *Ziraa'ah: Majalah Ilmiah Pertanian*, vol. 49, no. 1, p. 120, 2024, doi: 10.31602/zmip.v49i1.13717.
- [8] Z. F. Cahyani and D. P. Sari, "Analisis Penggunaan FMEA dalam Mengidentifikasi Risiko Kegagalan Proses Produksi pada PDAM Surya Sembada Kota Surabaya," *UNDIP E-Journal*, 2024.
- [9] H. C. Wahyuni, M. A. Rosid, R. Azara, and A. Voak, "Blockchain Technology Design Based on Food Safety and Halal Risk Analysis in the Beef Supply Chain with FMEA-FTA," *Journal of Engineering Research*, no. Dec. 2023, 2024, doi: 10.1016/j.jer.2024.02.002.
- [10] A. S. Athaya and Z. F. Rosyada, "Analisis Potensi Bahaya dan Risiko Menggunakan Metode Job Safety Analysis (JSA) pada Pekerjaan Mechanical Section di PT Angkasa Pura I (Persero) Semarang," *Industrial Engineering Online Journal*, vol. 9, no. 3, pp. 1–9, 2020. [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ieoj/article/view/33049>
- [11] T. Pyzdek, *The Six Sigma Handbook: Revised and Expanded*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2003, doi: 10.1530/acta.0.xxi0542.
- [12] S. D. Safira and R. W. Damayanti, "Analisis Defect Produk dengan Menggunakan Metode FMEA dan FTA untuk Mengurangi Defect Produk (Studi Kasus: Garment 2 dan Garment 3 PT Sri Rejeki Isman Tbk)," in *Seminar dan Konferensi Nasional IDEC 2022*, pp. D03.1–D03.10, 2022.
- [13] A. Hariadi, I. Termawut, and A. Hafid, "Analisis Risiko Kegagalan Jaringan Distribusi PLN Menggunakan Metode Fault Tree Analysis," *IJESPG Journal*, vol. 1, no. 3, pp. 254–267, 2023. [Online]. Available: <http://ijespgjournal.org>
- [14] A. H. Stani, C. D. Ariani, D. Supriyadi, and M. I. Gazian, "Implementation of the QCDMSE Strategy in the Community Empowerment Program to Utilize the Sulawesi Masked Owls as a Natural Predator for Rodents," *Prospect: Jurnal Pemberdayaan Masyarakat*, vol. 2, no. 2, pp. 94–103, 2023, doi: 10.55381/jpm.v2i2.107.
- [15] W. A. Prastyabudi, R. A. Faharga, and H. Chandra, "Systematic Risk Analysis of Railway Component Quality: Integration of Failure Mode & Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA)," *Jurnal Sistem dan Teknologi*, vol. 22, no. 2, pp. 77–89, 2024.