

Analisis Risiko Pekerjaan *Erection* Jembatan Kereta Api Menggunakan Metode *Fuzzy* FMEA

Melania Uswatul Nurjanah¹, Septiana Widi Astuti^{2*}, Muhamad Nurhadi³

Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun

melania@ppi.ac.id¹, septiwdhi123@gmail.com^{2*}, noerhadi999@gmail.com³

ABSTRAK

Proyek jalur kereta api ganda Solo-Semarang dinilai memiliki risiko bahaya yang tinggi karena terletak sangat berdekatan dengan perlintasan sebidang dan menjadi pertemuan antara tujuh ruas jalan sehingga dapat membahayakan warga dan lingkungan serta pekerja proyek yang berada di area proyek. Tujuan dari penelitian ini untuk melakukan penilaian risiko dengan metode *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) terhadap bahaya atau potensi insiden pada pekerjaan *erection* jembatan kereta api. Metode *Fuzzy* FMEA (digunakan untuk mengidentifikasi risiko kecelakaan kerja dan menentukan prioritas mitigasi risiko berdasarkan nilai *Fuzzy* RPN (*Risk Priority Number*) tertinggi. Hasil dari penelitian yang dilakukan dari bulan Maret - April 2023 diperoleh 14 (empat belas) risiko yang diperoleh dari hasil pengamatan dan dokumen *Job Safety Analysis*. Berdasarkan hasil pengolahan diperoleh nilai *Fuzzy* RPN tertinggi pada pekerjaan *erection* sebesar 500 (lima ratus) untuk risiko kerusakan mesin. Nilai ini masuk pada kategori tinggi sehingga diperlukan tindakan mitigasi risiko untuk mencegah dan mengurangi dampak dari risiko.

Kata Kunci: Identifikasi Risiko, Penilaian Risiko, Mitigasi Risiko, *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis*.

ABSTRACT

The Solo-Semarang dual railway line project is considered to have a high risk of danger because it is located very close to level crossings and becomes a meeting between seven roads so that it can endanger residents and the environment as well as project workers who are in the project area. The purpose of this study is to conduct a risk assessment using the *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) method of hazards or potential incidents in railroad bridge erection work. The *Fuzzy* FMEA method is used to identify work accident risks and determine risk mitigation priorities based on the highest *Fuzzy* RPN (*Risk Priority Number*) value. The results of the research conducted from March - April 2023 obtained 14 (fourteen) risks obtained from observations and *Job Safety Analysis* documents. Based on the processing results, the highest *Fuzzy* RPN value was obtained in the erection work of 500 (five hundred) for the risk of machine damage. This value is in the high category so that risk mitigation actions are needed to prevent and reduce the impact of risks.

Keywords: Risk Identification, Risk Assessment, Risk Mitigation, *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis*.

Submitted: 03 Oktober 2023	Reviewed: 20 November 2023	Revised 03 Desember 2023	Published: 02 Februari 2024
--------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------

PENDAHULUAN

Kementerian Ketenagakerjaan (Kemenaker) mengklaim kasus kecelakaan kerja mengalami peningkatan dari 234.370 kasus pada tahun 2021 menjadi 265.334 kasus kecelakaan kerja pada November 2022, jumlah tersebut meningkat 30.964 kasus dibandingkan sepanjang tahun 2021 dilihat dari *trend* peningkatan kecelakaan kerja. Jumlah kecelakaan kerja di Indonesia terus meningkat antara tahun 2017 hingga 2022, menjadi indikasi bahwa penerapan keselamatan

dan kesehatan kerja (K3) perlu mendapat perhatian.

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Konstruksi Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia, Manajemen Risiko adalah proses pengelolaan risiko yang mulai dengan kegiatan mengidentifikasi bahaya, menilai tingkat risiko dan mengendalikan risiko (Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, 2016). Identifikasi risiko adalah proses menemukan, mengidentifikasi dan merekam risiko. Tujuan dari identifikasi risiko adalah untuk mengidentifikasi

potensi bahaya atau situasi yang dapat mempengaruhi pencapaian sistem atau tujuan organisasi.

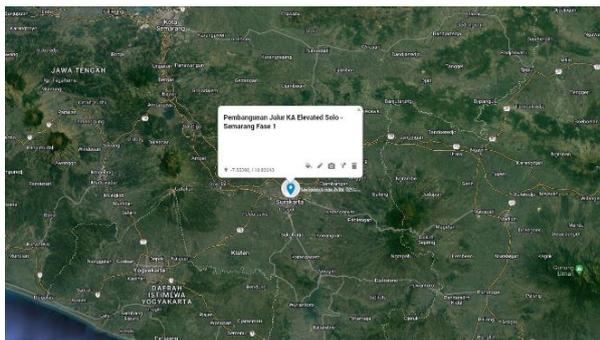
Penilaian risiko dilakukan sebagai proses seleksi tingkat risiko yang ditinjau dari kemungkinan kejadian (*likelihood*) dan keparahan yang ditimbulkan (*severity*). Penilaian risiko dengan analisis risiko dan evaluasi risiko dapat dilakukan setelah semua risiko teridentifikasi (Alpan, 2017). Mitigasi risiko merupakan suatu rancangan yang disusun untuk memperkecil risiko kerugian materil, kehilangan jam kerja maupun kecelakaan kerja di masa yang akan datang. Mitigasi risiko dapat disusun berdasarkan penyebab risiko yang bisa berasal dari factor manusia, material, mesin, metode dan lingkungan (Yeni et al., 2022).

Proyek pembangunan jalur kereta api ganda Solo-Semarang merupakan salah satu proyek dengan letak sangat berdekatan dengan perlintasan sebidang yang paling sibuk di Solo dan jalan raya yang padat menjadi lalu-lalang masuk keluarnya kendaraan yang masuk proyek. Kemacetan yang kerap terjadi terlebih saat intensitas perjalanan kereta api meningkat dengan pengoperasian kereta bandara. Mengingat risiko kecelakaan kerja yang tinggi pada proyek tersebut maka penelitian ini akan menggunakan metode *Fuzzy FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)* untuk mengidentifikasi risiko kecelakaan kerja dan menentukan prioritas risiko kecelakaan kerja serta mitigasi risikonya khususnya untuk pekerjaan *erection* jembatan kereta api berdasarkan nilai Fuzzy RPN (*Risk Priority Number*).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

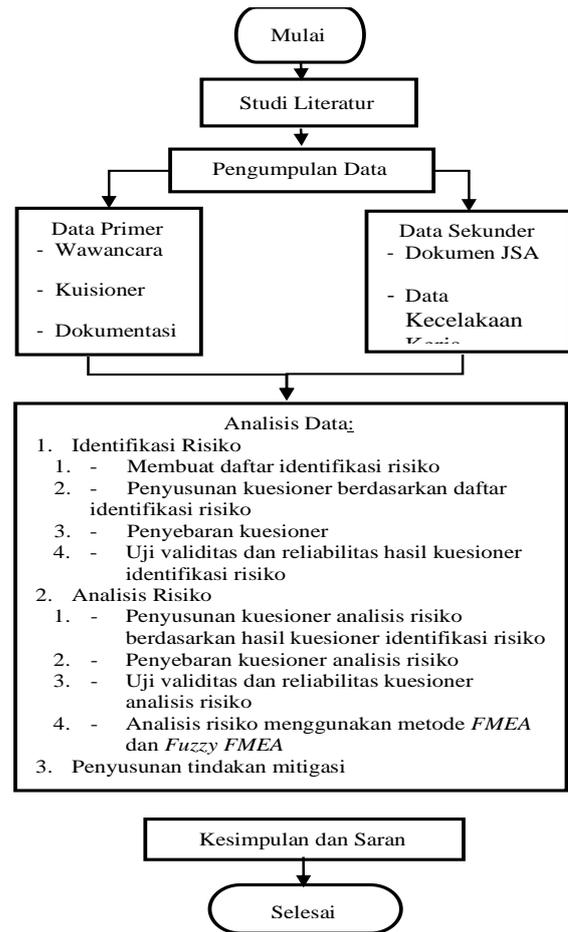
Penelitian dilaksanakan pada Satuan Kerja Area I Proyek Jalur Ganda Solo-Semarang di Kota Surakarta Provinsi Jawa Tengah dan dilakukan mulai Maret sampai dengan April 2023. Penelitian dilakukan pada pekerjaan *erection* yang terletak pada Simpang Joglo Kota Surakarta. Simpang Joglo merupakan simpang dengan 7 (tujuh) jalan yang mengelilingi jalur kereta api serta merupakan daerah yang berpenduduk padat.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(sumber : Google Maps, 2023)

Diagram Alir

Tahapan proses yang dilakukan dalam penelitian ini digambarkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini digunakan data primer dan sekunder. Data primer berupa observasi dan dokumentasi yaitu pengamatan dan pencatatan terhadap proses dan lingkungan kerja guna mengidentifikasi potensi permasalahan yang dimungkinkan terjadi kondisi berbahaya dan perbuatan berbahaya, penyebaran kuesioner dan wawancara. Responden yang diambil pada penelitian ini menggunakan *sampling purposive* yaitu penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu (Sugiyono, 2014). Jumlah responden sebanyak 15 orang yang berasal dari Ahli K3, Konsultan, Kontraktor dan Pengawas dari Balai Teknik Perkeretaapian Semarang yang terlibat pada proyek pembangunan jalur kereta api ganda Solo-Semarang. Data sekunder diperoleh dari dokumen keselamatan kerja antara lain *Job Safety Analysis*.

Analisis Data

Setelah data diperoleh, tahap selanjutnya yaitu analisis data. Proses analisis data sebagai berikut.

1. Tahap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) (Sukwadi et al., 2017), meliputi

penilaian *severity* (S), *occurrence* (O), *detection* (D) dari setiap kegiatan kegagalan yang teridentifikasi. Penilaian ini dilakukan dengan cara penyebaran kuesioner kepada responden yang telah berpengalaman, serta dengan melakukan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN).

2. Tahap *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), yaitu *fuzzification*, *rule evaluation*, *defuzzification*, dan perhitungan *F-RPN* (Suriyanto et al., 2022)
3. Tahap menyusun tindakan mitigasi risiko. Maksud dari upaya mitigasi risiko adalah untuk mengendalikan atau mengatasi jenis risiko yang telah dikenali, sehingga memungkinkan penemuan solusi dan penunjukan pihak yang bertanggung jawab atas risiko tersebut (Giri et al., 2021).

HASIL PENELITIAN

Identifikasi Risiko

Erection merupakan proses pemasangan atau perakitan segmen pra-cetak atau *girder* menjadi suatu *frame* atau kerangka dari struktur jembatan. Berdasarkan hasil pengamatan didapatkan 8 (delapan) risiko, sedangkan berdasarkan *JSA* diperoleh 6 (enam) risiko sehingga total risiko yang teridentifikasi sebanyak 14 (empat belas) risiko.

Tabel 1. Identifikasi Risiko

No	Risiko	Simbol
1.	Orang yang tidak berwenang masuk	H1
2.	Operator kurang konsentrasi	H2
3.	Alat berat menimpa pekerja	H3
4.	Jarak pekerja terlalu dekat dengan pengangkatan / penurunan material	H4
5.	Kerusakan mesin	H5
6.	Tertimpa alat yang terjatuh	H6
7.	Tertimpa sling yang putus	H7
8.	Material terlalu lebar dan berat	H8
9.	Pekerja kurang fit/tidak enak badan pada saat pengelasan di ketinggian	I1
10.	Pekerja yang tidak berkepentingan masuk	I2
11.	Penggunaan APD (helm, <i>face shield</i> , kacamata (<i>goggles</i>), sepatu, baju kerja/ apron/ <i>wearpack</i> , sarung tangan, dan masker) pada saat menggunakan mesin las	I3
12.	Penggunaan APD (helm, sepatu, rompi, <i>full body harness</i> dan sarung tangan) di ketinggian	I4

No	Risiko	Simbol
13.	Kecelakaan kerja yang mengakibatkan terganggunya perjalanan operasional kereta api	I5
14.	Tertabrak kereta yang melintas	I6

Penilaian Risiko

Perhitungan Nilai RPN

Input FMEA dilakukan dengan memasukkan S,O,D kemudian dilanjut dengan perhitungan *RPN* yaitu perkalian antara $S \times O \times D$ dan ditentukan peringkat *RPN* sesuai dengan tabel 2.

Tabel 2. Peringkat *RPN*

No	Risiko	S	O	D	RPN	Tingkat Risiko
1.	H1	7	6	4	168	Tinggi
2.	H2	9	6	4	216	Sangat Tinggi
3.	H3	9	6	4	216	Sangat Tinggi
4.	H4	9	7	4	252	Sangat Tinggi
5.	H5	8	5	5	200	Tinggi
6.	H6	9	5	4	180	Tinggi
7.	H7	9	5	4	180	Tinggi
8.	H8	7	7	4	196	Tinggi
9.	I1	8	7	4	224	Sangat Tinggi
10.	I2	7	5	4	140	Tinggi
11.	I3	6	4	4	96	Sedang
12.	I4	7	3	4	84	Sedang
13.	I5	9	6	4	216	Sangat Tinggi
14.	I6	9	7	4	252	Sangat Tinggi

Dari *FMEA* pekerjaan dengan risiko paling tinggi dengan nilai *RPN* 252 dengan kategori sangat tinggi yaitu jarak pekerja terlalu dekat dengan pengangkatan/penurunan material dan tertabrak kereta yang melintas.

a. *Input Fuzzy*

Berdasarkan dari *input fuzzy* yang diperoleh dari *FMEA*, maka akan terbentuk keanggotaan variabel *input*. Masing-masing variabel *input* memiliki parameter yang menunjukkan kategori serta tipe kurva. Berikut merupakan fungsi keanggotaan dari masing-masing variabel *input fuzzy*, yaitu *severity*, *occurrence*, dan *detection* (Puente, 2012).

1. Keanggotaan akibat kesalahan (*severity*)

a. *None*

$$(x) = \begin{cases} (2-x) & \rightarrow 1 \leq x < 2 \\ (2-1) & \rightarrow x \geq 2 \end{cases}$$

b. *Very minor*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 1 \text{ atau } x \geq 3 \\ \frac{(x-1)}{(2-1)} \rightarrow 1 < x \leq 2 \\ \frac{(3-x)}{(3-2)} \rightarrow 2 < x < 3 \end{cases}$$

c. *Minor*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 2 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{(x-2)}{(3-2)} \rightarrow 2 < x \leq 3 \\ \frac{(4-x)}{(4-3)} \rightarrow 3 < x < 4 \end{cases}$$

d. *Very low*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 5 \text{ atau } x \geq 5 \\ \frac{(x-3)}{(4-3)} \rightarrow 3 < x \leq 4 \\ \frac{(5-x)}{(5-4)} \rightarrow 4 < x < 5 \end{cases}$$

e. *Low*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 4 \text{ atau } x \geq 6 \\ \frac{(x-4)}{(5-4)} \rightarrow 4 < x \leq 5 \\ \frac{(6-x)}{(6-5)} \rightarrow 5 < x < 6 \end{cases}$$

f. *Moderate*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 5 \text{ atau } x \geq 7 \\ \frac{(x-5)}{(6-5)} \rightarrow 5 < x \leq 6 \\ \frac{(7-x)}{(7-6)} \rightarrow 6 < x < 7 \end{cases}$$

g. *High*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 6 \text{ atau } x \geq 8 \\ \frac{(x-6)}{(7-6)} \rightarrow 6 < x \leq 7 \\ \frac{(8-x)}{(8-7)} \rightarrow 7 < x < 8 \end{cases}$$

h. *Very high*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 7 \text{ atau } x \geq 9 \\ \frac{(x-7)}{(8-7)} \rightarrow 7 < x \leq 8 \\ \frac{(9-x)}{(9-8)} \rightarrow 8 < x < 9 \end{cases}$$

i. *Hazardous with warning*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 8 \text{ atau } x \geq 10 \\ \frac{(x-8)}{(9-8)} \rightarrow 8 < x \leq 9 \\ \frac{(10-x)}{(10-9)} \rightarrow 9 < x < 10 \end{cases}$$

j. *Hazardous without warning* $(x) =$

$$\begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 8 \text{ atau } x \geq 10 \\ \frac{(x-9)}{(10-9)} \rightarrow 9 < x \leq 10 \\ 1 \rightarrow x \geq 10 \end{cases}$$

2. Keanggotaan penyebab kesalahan (*occurrence*)a. *Remote*

$$(x) = \begin{cases} \frac{(2-x)}{(2-1)} \rightarrow 1 \leq x < 2 \\ 0 \rightarrow x \geq 2 \end{cases}$$

b. *Low*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 1 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{(x-1)}{(2-1)} \rightarrow 1 < x < 2 \\ 1 \rightarrow 2 \leq x \leq 3 \\ \frac{(4-x)}{(4-3)} \rightarrow 3 < x < 4 \end{cases}$$

c. *Moderate*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 1 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{(x-3)}{(4-3)} \rightarrow 3 < x < 4 \\ 1 \rightarrow 4 \leq x \leq 6 \\ \frac{(7-x)}{(7-6)} \rightarrow 6 < x < 7 \end{cases}$$

d. *High*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 1 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{(x-6)}{(7-6)} \rightarrow 6 < x < 7 \\ 1 \rightarrow 7 \leq x \leq 8 \\ \frac{(9-x)}{(9-8)} \rightarrow 8 < x < 9 \end{cases}$$

e. *Very high*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 4 \text{ atau } x \geq 6 \\ \frac{(x-8)}{(9-8)} \rightarrow 8 < x < 9 \\ 1 \rightarrow x \geq 10 \end{cases}$$

3. Keanggotaan kontrol deteksi (*detection*)a. *Almost certain*

$$(x) = \begin{cases} \frac{(2-x)}{(2-1)} \rightarrow 1 \leq x < 2 \\ 0 \rightarrow x \geq 2 \end{cases}$$

b. *Very high*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 1 \text{ atau } x \geq 3 \\ \frac{(x-1)}{(2-1)} \rightarrow 1 < x < 2 \\ \frac{(3-x)}{(3-2)} \rightarrow 2 < x < 3 \end{cases}$$

c. *High*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 2 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{(x-2)}{(3-2)} \rightarrow 2 < x < 3 \\ \frac{(4-x)}{(4-3)} \rightarrow 3 < x < 4 \end{cases}$$

d. *Moderately high*

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 5 \text{ atau } x \geq 5 \\ \frac{(x-3)}{(4-3)} \rightarrow 3 < x < 4 \\ \frac{(5-x)}{(5-4)} \rightarrow 4 < x < 5 \end{cases}$$

e. Moderate

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 4 \text{ atau } x \geq 6 \\ \frac{(x-4)}{(5-4)} \rightarrow 4 < x < 5 \\ \frac{(6-x)}{(6-5)} \rightarrow 5 < x < 6 \end{cases}$$

f. Low

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 5 \text{ atau } x \geq 7 \\ \frac{(x-5)}{(6-5)} \rightarrow 5 < x \leq 6 \\ \frac{(7-x)}{(7-6)} \rightarrow 6 < x < 7 \end{cases}$$

g. Very low

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 6 \text{ atau } x \geq 8 \\ \frac{(x-6)}{(7-6)} \rightarrow 6 < x \leq 7 \\ \frac{(8-x)}{(8-7)} \rightarrow 7 < x < 8 \end{cases}$$

h. Remote

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 7 \text{ atau } x \geq 9 \\ \frac{(x-7)}{(8-7)} \rightarrow 7 < x \leq 8 \\ \frac{(9-x)}{(9-8)} \rightarrow 8 < x < 9 \end{cases}$$

i. Very remote

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 8 \text{ atau } x \geq 10 \\ \frac{(x-8)}{(9-8)} \rightarrow 8 < x \leq 9 \\ \frac{(10-x)}{(10-9)} \rightarrow 9 < x < 10 \end{cases}$$

j. Absolutely impossible

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 8 \text{ atau } x \geq 10 \\ \frac{(x-9)}{(10-9)} \rightarrow 9 < x \leq 10 \\ 1 \rightarrow x \geq 10 \end{cases}$$

b. Output Fuzzy

Keanggotaan untuk *output* himpunan fuzzy berdasarkan dari nilai skala *severity*, *occurrence*, dan *detection* dengan rentang nilai antara 1-10. Sedangkan untuk *output*-nya memiliki rentang nilai 1-1000. Masing-masing parameter nilai tersebut memiliki kategori dan tipe kurva yang berbeda.

a. Very low

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \geq 75 \\ \frac{(75-x)}{(75-25)} \rightarrow 25 < x < 75 \\ 1 \rightarrow 0 \leq x \leq 25 \end{cases}$$

b. Very low – low

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 25 \text{ atau } x \geq 125 \\ \frac{(x-25)}{(75-25)} \rightarrow 5 < x \leq 75 \\ \frac{(125-x)}{(125-75)} \rightarrow 75 < x < 125 \end{cases}$$

c. Low

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 75 \text{ atau } x \geq 200 \\ \frac{(x-75)}{(125-75)} \rightarrow 75 < x \leq 125 \\ \frac{(200-x)}{(200-125)} \rightarrow 125 < x < 200 \end{cases}$$

d. Low – moderate

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 125 \text{ atau } x \geq 300 \\ \frac{(x-125)}{(200-125)} \rightarrow 125 < x \leq 200 \\ \frac{(300-x)}{(300-200)} \rightarrow 200 < x < 300 \end{cases}$$

e. Moderate

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 200 \text{ atau } x \geq 400 \\ \frac{(x-200)}{(300-200)} \rightarrow 200 < x \leq 300 \\ \frac{(400-x)}{(400-300)} \rightarrow 300 < x < 400 \end{cases}$$

f. Moderate – high

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 300 \text{ atau } x \geq 500 \\ \frac{(x-400)}{(400-300)} \rightarrow 300 < x \leq 400 \\ \frac{(500-x)}{(500-400)} \rightarrow 400 < x < 500 \end{cases}$$

g. High

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 400 \text{ atau } x \geq 700 \\ \frac{(x-400)}{(500-400)} \rightarrow 400 < x \leq 500 \\ \frac{(700-x)}{(700-500)} \rightarrow 500 < x < 700 \end{cases}$$

h. High – very high

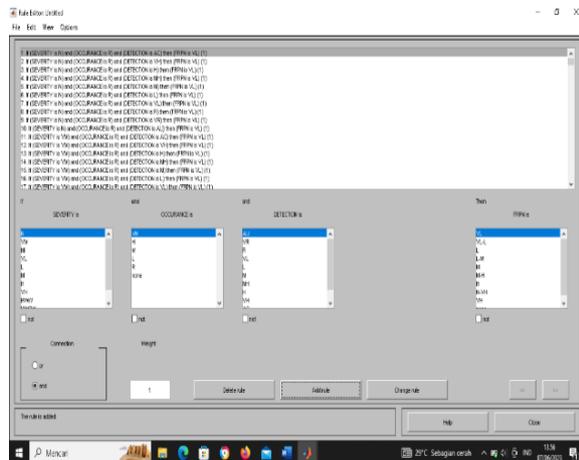
$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 500 \text{ atau } x \geq 900 \\ \frac{(x - 500)}{(700 - 500)} \rightarrow 500 < x \leq 700 \\ \frac{(900 - x)}{(900 - 700)} \rightarrow 700 < x < 900 \end{cases}$$

i. Very high

$$(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq 700 \\ \frac{(x - 700)}{(900 - 700)} \rightarrow 700 < x < 900 \\ 1 \rightarrow x \geq 900 \end{cases}$$

c. Rules Fuzzy

Aturan yang terdapat didalam fuzzy FMEA ini merupakan kombinasi dari 3 variabel input yaitu severity, occurrence, dan detection serta ditambah output dari fuzzy RPN itu sendiri dengan menggunakan if-then rules. Rules yang terbentuk dari 3 variabel input tersebut terdiri dari S sebanyak 10 kategori, O sebanyak 5 kategori, dan D sebanyak 10 kategori sehingga diperoleh total sebanyak 500 rules (10x5x10). Berikut akan diberikan contoh penentuan rules output F-RPN.



Gambar 3. Rules Fuzzy FMEA yang terbentuk

Contoh mengaplikasikan Software MatLab R2018b Input nilai [9;7;4] berasal dari rata-rata hasil kuesioner yang memiliki F-RPN 350. Nilai severity memiliki parameter (8; 9; 10), nilai occurrence memiliki parameter (6; 7; 8; 9) Nilai detection memiliki parameter (3; 4 5).

d. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses mengubah hasil himpunan fuzzy menjadi bilangan real yang tegas (crisp). Nilai tegas harus diperoleh kembali karena sistem inferensi hanya dapat membaca nilai yang tegas, sehingga diperlukan suatu mekanisme yang disebut unit defuzzifikasi untuk mengubah nilai keluaran fuzzy menjadi nilai yang tegas. Defuzzifikasi memiliki tujuan untuk mempertegas peringkat hasil dari Fuzzy RPN. Peringkat tegas untuk F-RPN digunakan untuk melakukan

evaluasi kinerja pekerja. Proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid.

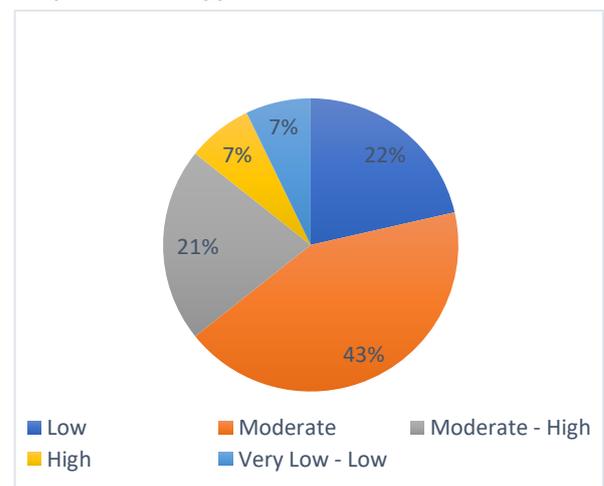
Berdasarkan dari hasil defuzzifikasi diperoleh nilai Fuzzy Risk Priority Number. Nilai Fuzzy RPN diperoleh dari hasil output pengolahan menggunakan software MatLab R2018b. Input dari proses defuzzifikasi yang menggunakan software MatLab R2018b adalah nilai RPN lama yang diperoleh dari perkalian antara nilai severity, occurrence, dan detection. Nilai Fuzzy RPN sesuai dengan rules yang diinputkan kedalam software. Serta terdapat perubahan peringkat nilai RPN setelah diinputkan ke dalam software dengan nilai Fuzzy RPN (Puspitaloka & Ekawati, 2022).

e. Hasil Fuzzy RPN

Tabel 3. Nilai Fuzzy RPN

Risiko	Fuzzy-RPN	Peringkat	Kategori
H1	179	5	L
H2	258	4	M
H3	258	4	M
H4	350	2	M-H
H5	500	1	H
H6	258	4	M
H7	258	4	M
H8	258	4	M
I1	300	3	M-H
I2	179	5	L
I3	133	6	L
I4	108	7	VL-L
I5	258	4	M
I6	350	2	M-H

Pada pekerjaan erection memiliki nilai F-RPN tertinggi sebesar 500 dengan kategori H (High) yaitu kerusakan mesin. Sedangkan risiko dengan nilai F-RPN terendah yaitu penggunaan APD (helm, sepatu, rompi, full body harness dan sarung tangan) di ketinggian.

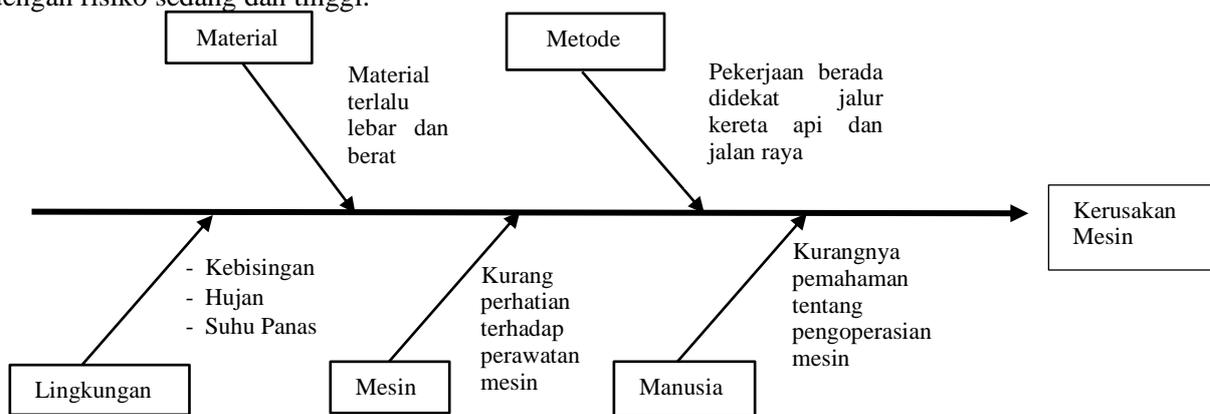


Gambar 4. Persentase Kategori Fuzzy RPN

Dari gambar 4 di atas terlihat bahwa mayoritas pekerjaan *erection* memiliki risiko keselamatan dan kesehatan kerja yang berada dalam kategori sedang hingga tinggi, dengan total mencapai 64% (*Moderate - High Risk*: 21% dan *Moderate Risk*: 43%). Risiko yang rendah (*Very Low - Low Risk*: 7%) dan risiko yang tinggi (*High Risk*: 7%) memiliki persentase yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan risiko dalam kategori sedang (*Moderate Risk*) dan tinggi (*Moderate - High Risk*). Risiko rendah (*Low Risk*: 22%) juga cukup signifikan, tetapi masih lebih rendah dibandingkan dengan risiko sedang dan tinggi.

Mitigasi Risiko

Pada pekerjaan *erection* memiliki nilai *F-RPN* tertinggi sebesar 500 sehingga masuk pada kategori H (*High*) yaitu kerusakan mesin. Oleh karena itu, dibuatlah diagram *fishbone* agar memudahkan membuat mitigasi risiko (Astuti et al., 2022). Diagram *fishbone* dibuat untuk risiko dengan hasil *F-RPN* tertinggi dengan faktor yang menyebabkan terjadinya risiko diambil dari faktor manusia, mesin, metode, material dan lingkungan.



Gambar 5. Diagram *Fishbone* Pekerjaan *Erection*

Berdasarkan diagram penyebab risiko, diusulkan beberapa mitigasi risiko untuk pekerjaan *Erection* sebagai berikut:

a. Faktor Manusia

Pada pekerjaan *erection*, alat berat crane berfungsi untuk melakukan pengangkatan beban dengan berat mencapai beberapa ton. Kegiatan operasi ini mempunyai risiko tinggi untuk terjadi kecelakaan sehingga dibutuhkan tenaga kerja khusus yang sudah terlatih dan mempunyai ijin untuk melakukan pekerjaan menggunakan crane. Tenaga kerja ini adalah operator, juru ikat (*rigger*) dan teknisi.

b. Mesin

Peralatan yang digunakan untuk mengangkat girder, baik itu *crane* dan alat bantu angkat harus diinspeksi terlebih dahulu. Pemeriksaan mesin secara rutin untuk memastikan mesin sebelum digunakan dalam kondisi baik. Pemeriksaan rutin dapat dilakukan berupa inspeksi sebelum pemakaian, inspeksi berkala dan inspeksi tahunan.

c. Metode

Beberapa mitigasi risiko dari sisi metode antara lain penempatan *train watcher* untuk mengawasi lalu lintas perjalanan kereta api dan menghentikan pekerjaan saat kereta melintas, penempatan *flagman* dan/atau *Safety Officer* untuk mengatur pergerakan alat angkut maupun kendaraan operasional agar tidak terlalu dekat dengan jalur

kereta, pemasangan pagar proyek, pemasangan bendera merah sebagai tanda kepada masinis untuk menurunkan kecepatan kereta, dan perencanaan *traffic management* yang tepat.

d. Material

Beberapa mitigasi risiko dari sisi material antara lain memastikan ikatan pengait kuat dan kokoh dan dilakukan oleh *rigger* yang memiliki kompetensi terkait, memastikan saat melakukan *swing* material, *load indicator* yang terbaca pada kabin operator tetap dalam *Safe Working Load* (SWL) dan selalu waspada pada kondisi bagian belakang *crane* bila terjungkit.

e. Lingkungan

Mitigasi risiko untuk faktor lingkungan antara lain penempatan penghalang pada jalan transmisi, pemberlakuan kebijakan *Stop Work Action* (SWA) untuk menghentikan pekerjaan saat hujan lebat dan penyediaan tenda untuk berteduh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan *Fuzzy RPN*, mayoritas pekerjaan *erection* memiliki risiko keselamatan dan kesehatan kerja yang berada dalam kategori sedang hingga tinggi dengan nilai *Fuzzy RPN* tertinggi yaitu 500 termasuk pada kategori risiko tinggi. Untuk mencegah dan mengurangi dampak dari terjadinya risiko terutama untuk risiko tinggi diperlukan upaya

mitigasi risiko baik dari faktor manusia, mesin, metode, material dan lingkungan. Beberapa mitigasi risiko yang bisa dilaksanakan antara lain peningkatan pelatihan, memastikan pemeriksaan rutin untuk alat-alat berat yang digunakan, penggunaan alat pelindung diri yang tepat dan pengawasan yang ketat terhadap pelaksanaan pekerjaan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Balai Teknik Perkeretaapian Kelas 1 Semarang yang telah memberikan izin dan kesempatan untuk melaksanakan penelitian di Satuan Kerja Area I Proyek Jalur Ganda Solo-Semarang. Selain itu, penulis juga ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang turut membantu dan mendukung dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpan, D. B. (2017). *Hazard Identification Risk Assessment Risk Control pada Tahap Pemasangan Precast Fasade di Wika Cakra KSO Tahun 2017* [Universitas Binawan]. <https://repository.binawan.ac.id/617/>
- Astuti, S. W., Alfariji, M. D., Armyta, A., & Prativi, A. (2022). Efforts To Prevent Work Accidents with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Method. *Journal of World Science*, 1(11), 1077–1093. <https://doi.org/10.58344/jws.v1i11.145>
- Direktorat Jenderal Bina Konstruksi. (2016). *Manajemen Risiko K3*. Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang.
- Giri, J. P., Alit, I. K., Putra, A., & Mahendra, I. W. (2021). Identifikasi Penilaian dan Mitigasi Resiko pada Proyek Villa Nini Elly. *Jurnal Teknik Gradien*, 13(01), 61–73.
- Kangari, R. (1995). Risk management perceptions and trends of US construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 121(4), 422-429. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1995\)121:4\(422\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1995)121:4(422))
- Puente, J. (2012). Artificial Intelligence Tools for Applying Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *International Journal of Quality & Reliability Management*, 19(1), 137–143.
- Puspitaloka, M. A. C. D., & Ekawati, Y. (2022). Analisis Perbaikan Kualitas Proses Produksi di PT. XYZ dengan Menggunakan Metode Fuzzy FMEA. *Jurnal Teknik Industri UMC*, 2(1), 14–26. <https://doi.org/10.33479/jtiumc.v2i1.19>
- Sugiyono, S. (2014). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Suhatmaja, R., Chayati, N., & Taqwa, F. M. L. (2018). Analisis Risiko dalam Pekerjaan Atap Stadion Renang Aquatic Senayan. *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana, Departemen Teknik Sipil FT-UI, Depok, August*, 376–382
- Sukwadi, R., Wenehenubun, F., & Wenehenubun, T. W. (2017). Pendekatan Fuzzy FMEA dalam Analisis Faktor Risiko Kecelakaan Kerja. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 6(1), 29. <https://doi.org/10.26593/jrsi.v6i1.2425.29-38>
- Suriyanto, S., Profita, A., & Saptaningtyas, W. W. E. (2022). Penilaian Risiko Pada PDAM Tirta Kencana dengan Metode Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis. *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, 6(2), 238–247. <https://doi.org/10.31289/jime.v6i2.8311>
- Yeni, S. F., Masril, M., & Dewi, S. (2022). Analisis Manajemen Risiko terhadap Pelaksanaan Pembangunan Konstruksi Gedung Bertingkat di Kabupaten Dhamasraya. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1(2), 96–101. <https://doi.org/10.33559/err.v1i2.1131>