



Jurnal Teknologi Maritim Volume 7 No 1 Tahun 2024  
1 Mei 2024 / 7 Mei 2024 / 13 Mei 2024

Jurnal Teknologi Maritim

<http://jtm.ppns.ac.id>

## Analisis Risiko Goliath Crane Dengan Menggunakan Metode Fuzzy FMEA di Perusahaan Galangan Kapal

Ilham Bima Bachtiar<sup>1\*</sup>, Mades Darul Khairansyah<sup>1</sup>, Mochammad Yusuf Santoso<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia.

**Abstrak.** *Goliath crane* adalah mesin yang sangat vital bagi industri galangan kapal karena kapasitas angkat yang menunjang proses produksi kapal terutama pada proses block erection. Permasalahan yang sering terjadi pada *goliath crane* adalah ketika mesin mengalami kegagalan dan tidak dapat digunakan sehingga proses produksi kapal terhenti. Berdasarkan permasalahan tersebut, dilakukan analisis risiko terhadap komponen utama *goliath crane* dengan menggunakan metode fuzzy FMEA (fuzzy failure mode and effect analysis) untuk tiga mekanisme crane, yaitu longtravel, trolley dan hoisting. Dengan menggunakan fuzzy FMEA, didapatkan mode kegagalan, penyebab potensial dan fuzzy risk priority number (FRPN) dari setiap komponen. Berbeda dengan FMEA konvensional yang menganggap sama aspek severity, occurrence dan detection, penerapan logika fuzzy dalam FMEA dilakukan sehingga aspek penting severity, occurrence dan detection dapat diketahui. Hasil analisis menggunakan fuzzy FMEA pada mekanisme longtravel *goliath crane* menunjukkan bahwa terdapat tiga kegagalan yang memiliki tingkat risiko high medium sampai dengan low high dimana nilai FRPN lebih dari 7, yaitu keretakan pada crane legs, keretakan pada main girder dan thruster brake yang tidak berfungsi. Rekomendasi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan melakukan inspeksi visual selama 1 tahun sekali pada crane legs dan main girder serta melakukan inspeksi serta pengecekan komponen thruster setiap crane akan digunakan.

**Katakunci:** Fuzzy FMEA, Galangan Kapal, Goliath Crane

**Abstract.** *Goliath crane* is a critical machine in shipbuilding industries due to its lifting capacity, which supports the ship production process, particularly during block erection. The frequent issue with *goliath cranes* is the occurrence of failures that render the machine inoperable, leading to a halt in the ship production process. To address this problem, a risk analysis was conducted on the main components of the *goliath crane* using the fuzzy failure mode and effect analysis (FMEA) method for three crane mechanisms: long travel, trolley, and hoisting. By employing fuzzy FMEA, failure modes, potential causes, and fuzzy risk priority numbers (FRPN) were determined for each component. Unlike conventional FMEA that considers the same aspects of severity, occurrence, and detection, fuzzy logic was applied in FMEA to reveal the importance of severity, occurrence, and detection levels. The results of the fuzzy FMEA analysis on the long travel mechanism of the *goliath crane* indicated three failures with varying risk levels, ranging from high to low. The FRPN values for these failures were higher than 7. The failures include cracks in the crane legs, cracks in the main girder, and malfunctioning thruster brakes. To overcome these issues, it is recommended to perform visual

Email Korespondensi: [ilhambima@student.ppns.ac.id](mailto:ilhambima@student.ppns.ac.id)

doi: <https://doi.org/10.35991/jtm.v7i1.9>

inspections of crane legs and main girders once a year and to inspect and check thruster components before each crane usage.

*Keywords:* Fuzzy FMEA, Goliath Crane, Shipyard.

## **Pendahuluan**

Indonesia sebagai negara maritim terbesar di dunia menyimpan potensi kekayaan laut yang begitu besar. Hadirnya transportasi laut seperti kapal menjadi kebutuhan vital dalam upaya menggali anugerah laut Indonesia atau bahkan menjadi sarana transportasi antar pulau (Shaputra et al., 2021). Berdasarkan Sahadewa & Wikarta (2017), pada industri berskala besar peralatan dan material yang di gunakan relatif berat dan berukuran besar, sehingga diperlukan pesawat angkat seperti crane untuk mempermudah proses pengerjaannya. Permasalahan yang terjadi akibat penggunaan goliath crane secara terus-menerus adalah kegagalan komponen yang tentunya menimbulkan kerugian bagi perusahaan karena proses produksi yang terhenti. Selain itu, kegagalan komponen juga dapat menimbulkan risiko kepada pekerja yang membahayakan proses produksi dan non produksi, sejalan dengan Fazle Rabbi, (2018) yang menyebutkan bahwa kualitas, keandalan dan safety adalah faktor penting untuk mesin yang berukuran besar. Selanjutnya Xiong & Fan, (2015) menyatakan bahwa terdapat empat faktor yang dapat menyebabkan kecelakaan parah pada crane, yaitu kelelahan pada struktur crane, kesalahan dalam pengoperasian, kegagalan suku cadang dan kegagalan sistem elektrik. Hal tersebut diperkuat oleh Ham et al., (2016) yang menyatakan bahwa dengan beban lebih dari 100 ton, pusat beban blok pada saat dilakukan lifting dapat menyebabkan kecelakaan yang parah, seperti melukai pekerja dan beban terjatuh ke tanah. semakin besar crane, semakin banyak faktor yang dapat menyebabkan kecelakaan.

Mengingat belum terdapat penelitian yang membahas mengenai analisis risiko mengenai kegagalan goliath crane, peneliti melakukan analisis untuk mengetahui kegagalan yang dapat terjadi, tingkat keparahan dan rekomendasi yang dapat diberikan pada komponen goliath crane. Penelitian menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk mengetahui seluruh penyebab dari bagaimana sebuah produk dapat mengalami kegagalan (McDermott et al., 2009). Dalam penelitian ini, digunakan logika fuzzy untuk FMEA karena memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah mempertimbangkan setiap aspek severity, occurrence dan detection secara detail yang tidak diberikan oleh FMEA konvensional (Liu et al., 2011). Logika matematis pada fuzzy juga mampu mengevaluasi proses yang memiliki kesulitan pemeringkatan dengan memberikan pertimbangan bobot pada kriteria S, O, dan D pada FMEA tradisional (Braglia et al., 2003; Kumru & Yıldız, 2013). Selanjutnya dari hasil fuzzy FMEA akan didapatkan hasil fuzzy risk priority number yang menunjukkan prioritas risiko yang nantinya akan diberikan rekomendasi, sehingga tingkat risiko dapat dikurangi atau bahkan dihilangkan.

## **2. Tinjauan Pustaka**

### **a. Goliath Crane**

Galangan kapal, yang merupakan salah satu sektor industri, membutuhkan *crane* dalam proses bisnisnya. Salah satu jenis pesawat angkat tersebut digunakan untuk memindahkan material berat yang tidak bisa dipindahkan oleh manusia (Hong dan Shah, 2019). Salah satu

*crane* yang dapat dijadikan representasi sebuah galangan kapal adalah *gantry crane*, juga dikenal sebagai *goliath crane*.

*Goliath crane* memiliki sebuah kaki derek (*crane leg*) dan gelagar (*girder*), troli atas dan bawah, pengait, equalizer, dan tali kawat. Pada proses pemasangan blok kapal, *goliath crane* mengontrol pergerakan blok melalui gerakan translasi gelagar *crane*, dua troli, dan *winch* pada tali kawat. Karena beban angin dapat menyebabkan gerakan pada balok, maka pergerakan troli dan tali kawat harus dikendalikan secara presisi untuk memastikan balok secara akurat berada pada lintasan yang ditentukan (Lee, Roh dan Ham, 2021). Potensi kegagalan operasional *goliath crane* juga dapat muncul dari komponen mesin tersebut.

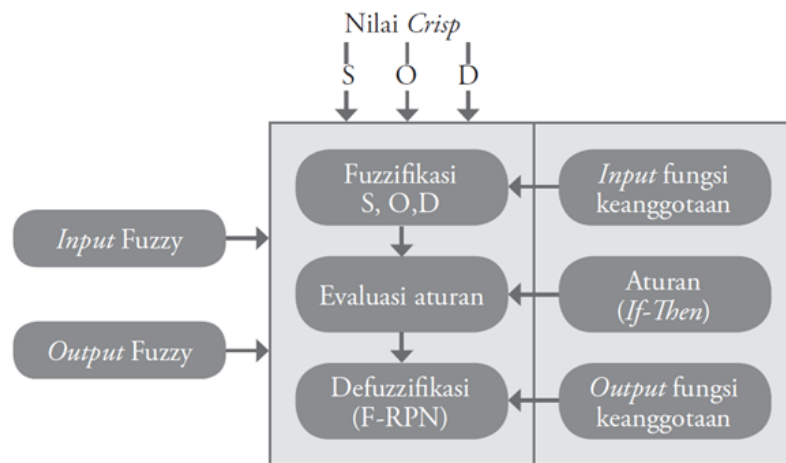
#### b. Analisis Risiko Berbasis Fuzzy FMEA

*Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) adalah teknik rekayasa yang umum digunakan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan kegagalan, masalah, kesalahan yang diketahui dan/atau potensial, dan sebagainya dari sistem, desain, proses dan/atau layanan sebelum mencapai pelanggan (Stamatis 1995). Lebih lanjut menurut menurut Badan Standardisasi Nasional (2016), FMEA adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi cara dimana komponen, sistem atau proses dapat gagal. FMEA telah menjadi salah satu alat analisis keselamatan dan keandalan yang paling banyak digunakan. Teknik FMEA telah diterapkan secara luas di berbagai bidang seperti industri otomotif, mekanik, kimia, elektronik, dan medis (Liu dkk., 2015).

FMEA tradisional menentukan prioritas potensi kegagalan melalui *Risk Priority Number* (RPN), yang didapatkan dari hasil perkalian tingkat keparahan, kejadian, dan deteksi kegagalan. Tiga *risk factor* (RF) tersebut dievaluasi dengan menggunakan peringkat dari 1 hingga 10. Meskipun sederhana, angka RPN memiliki celah untuk dikritik dalam berbagai aspek (Baykasoğlu dan Gölcük, 2020). *Logika fuzzy* digabungkan dengan FMEA untuk mengatasi defisiensi yang berkenaan dengan pendekatan konvensional dari perhitungan RPN. Pendekatan ini menggunakan sebuah *fuzzy expert system*, berdasarkan informasi yang diperoleh dari experts untuk menganalisis dan memprioritaskan risk event yang berbeda, sehingga tidak bergantung kepada perkalian S, O, dan D, untuk menghitung RPN (Abdelgawad dan Fayek, 2010).

### 3. Metode

*Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis* (*Fuzzy FMEA*) adalah sebuah analisis risiko yang bersifat kualitatif berdasarkan *expert judgement* untuk menentukan risiko dari *severity*, *occurrence* dan *detection* menggunakan istilah linguistik *fuzzy*. Logika *fuzzy* merubah skala 10 poin pada FMEA menjadi variabel linguistik, *if-then rules* pada *fuzzy FMEA* berfungsi untuk menghasilkan *fuzzy risk priority number* (FRPN) yang merupakan keluaran dari *fuzzy FMEA*. Nilai dari FRPN akan digunakan sebagai sebuah referensi untuk menentukan risiko yang akan diberikan tindakan preventif maupun korektif. Ilustrasi langkah-langkah *fuzzy FMEA* adalah sebagai berikut:



**Gambar 1.** Langkah Utama *Fuzzy FMEA* (Widianti & Firdaus, 2017)

a. Pembentukan Himpunan *Output Fuzzy*

Langkah *fuzzy FMEA* yang pertama adalah membentuk variabel *input*, dimana yang digunakan adalah *severity* (S), *occurrence* (O) dan *detection* (D). Selanjutnya menentukan derajat keanggotaan antara data *input fuzzy* dengan himpunan *fuzzy* yang telah ditentukan untuk masing-masing variabel *input* dari setiap aturan *fuzzy* dengan nilai antara 1 hingga 5 yang terbagi atas lima kategori. Penentuan nilai variabel *input* berdasarkan *risk matrix* dari perusahaan dan fungsi yang digunakan dalam variabel *input* adalah kurva segitiga, dikarenakan nilai dari *risk matrix* yang tidak berupa interval (Sadollah, 2018). Parameter fungsi keanggotaan dan tipe kurva variabel *input* dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 1.** Parameter Keanggotaan Variabel *Input*

Nilai			Kategori	Tipe Kurva
<i>Occurance</i>	<i>Severity</i>	<i>Detection</i>		
1	1	1	<i>Very Low</i>	Segitiga
2	2	2	<i>Low</i>	Segitiga
3	3	3	<i>Medium</i>	Segitiga
4	4	4	<i>High</i>	Segitiga
5	5	5	<i>Very High</i>	Segitiga

Modifikasi dari (Kumru & Yıldız, 2013).

b. Pembentukan Himpunan *Output Fuzzy*

Selanjutnya setelah pembentukan variabel *input* adalah pembentukan fungsi keanggotaan dan parameter variabel *output* (FRPN).

**Tabel 2.** Parameter Keanggotaan Variabel *Output*

Kategori	Tipe Kurva	Parameter
N	Segitiga	[1 1 2]
VL	Segitiga	[1 2 3]
L	Segitiga	[2 3 4]
HL	Segitiga	[3 4 5]
LM	Segitiga	[4 5 6]
M	Segitiga	[5 6 7]
HM	Segitiga	[6 7 8]
LH	Segitiga	[7 8 9]
H	Segitiga	[8 9 10]
VH	Segitiga	[9 10 10]

Modifikasi dari (Kumru & Yıldız, 2013).

c. Penentuan Aturan *Fuzzy*

Selanjutnya adalah memasukkan *rule* atau aturan *fuzzy* berdasarkan Kumru & Yıldız, (2013). Contoh aturan jika-maka pada *fuzzy* FMEA adalah, jika *severity low*, *occurance very low* dan *detection very high*, maka FRPN akan berkategori *low medium* (LM). Ilustrasi aturan *fuzzy* dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 3.** Rule Base Fuzzy FMEA

No	Severity	Occurance	Detection	Fuzzy Output
1	Very Low (VL)	Very Low (VL)	Very Low (VL)	None (N)
2	Very Low (VL)	Very Low (VL)	Low (L)	None (N)
3	Very Low (VL)	Very Low (VL)	Medium (M)	Very Low (VL)
4	Very Low (VL)	Very Low (VL)	High (H)	Low (L)
5	Very Low (VL)	Very Low (VL)	Very High (VH)	Low (L)
6	Low (L)	Very Low (VL)	Very Low (VL)	Very Low (VL)
7	Low (L)	Very Low (VL)	Low (L)	Low (L)
8	Low (L)	Very Low (VL)	Medium (M)	Low (L)
9	Low (L)	Very Low (VL)	High (H)	High Low (HL)

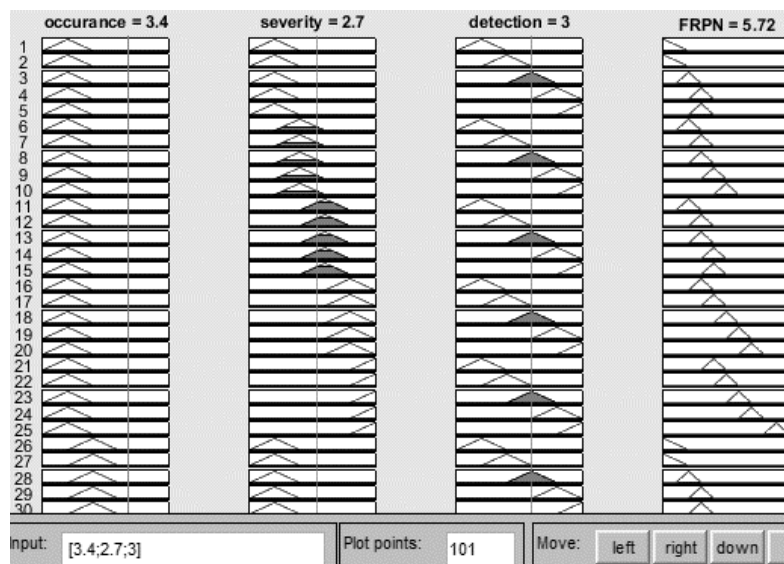
10	<i>Low (L)</i>	<i>Very Low (VL)</i>	<i>Very High (VH)</i>	<i>Low Medium (LM)</i>

Sumber: (Kumru & Yıldız, 2013)

Aturan lengkap *fuzzy* berjumlah 125 rules, yang didapatkan dari perkalian 5 kategori variabel *input*.

#### d. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses merubah bilangan linguistik menjadi bilangan *crisp* sehingga didapatkan FRPN berupa nilai 1-10. Langkah ini dilakukan berdasarkan fungsi keanggotaan dari variabel *output*. Dalam penelitian ini, karena logika *fuzzy* menggunakan metode mamdani, maka defuzzifikasi dilakukan dengan cara *center of gravity* (Centroid). Ilustrasi mengenai proses defuzzifikasi pada perangkat lunak ditunjukkan oleh gambar 3.



**Gambar 3.** Hasil Defuzzifikasi

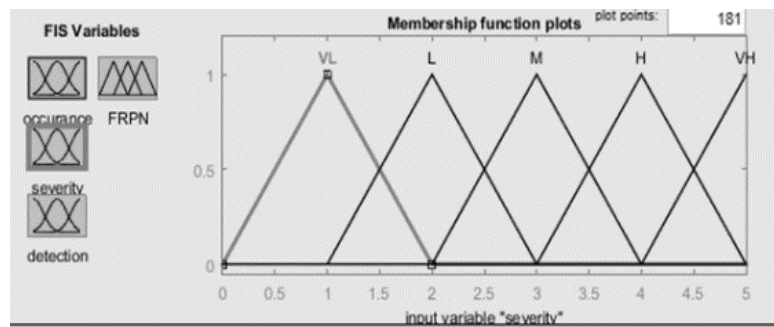
Gambar 3 merupakan proses defuzzifikasi yang menggunakan perangkat lunak matematika berbasis matrix. Berdasarkan gambar tersebut, diketahui *occurance* bernilai 3,4 (medium) *severity* bernilai 2,7 (medium) dan *detection* bernilai 3 (medium) sehingga didapatkan FRPN sebesar 5,72 (medium).

### 3. Hasil dan Pembahasan

Metode *fuzzy* FMEA bertujuan untuk menentukan risiko yang menjadi prioritas yang dapat terjadi pada *goliath crane*. Pengolahan data dibantu dengan menggunakan perangkat lunak matematika berbasis matriks. Tahap pengolahan data menggunakan metode *fuzzy* FMEA adalah sebagai berikut:

#### a. Pembentukan Himpunan *Input Fuzzy*

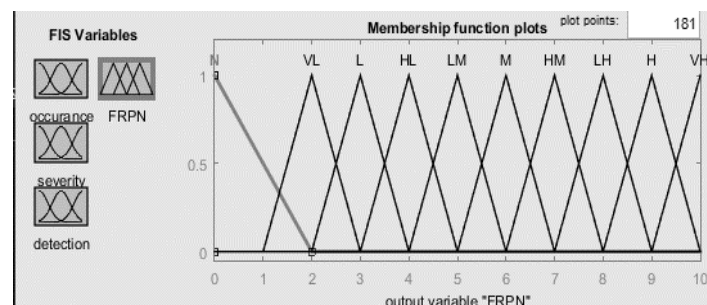
Pada tahap ini, parameter dari *severity*, *occurance* dan *detection* (Variabel *input*) diaplikasikan pada perangkat lunak tersebut



**Gambar 4.** Variabel *Input Severity* pada Matlab R2015a.

b. Pembentukan Himpunan *Output Fuzzy*

Setelah variabel masukan atau *input*, langkah selanjutnya adalah pembentukan himpunan keluaran atau *output*, berupa *Fuzzy RPN* (FRPN). Rentang nilai keluaran FRPN adalah 0 sampai dengan 10. Semakin besar nilai FRPN, maka tingkat risiko semakin tinggi. Ilustrasi fungsi keanggotaan variabel *output* dapat dilihat pada gambar berikut.



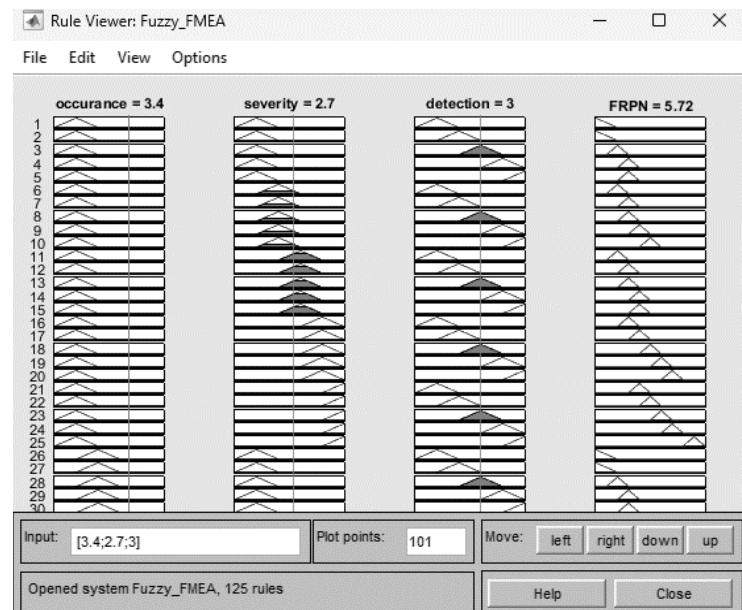
**Gambar 5.** Fungsi Anggota dan Nilai Variabel Output

c. Penentuan *Rule Fuzzy*

Berdasarkan tabel 3 mengenai aturan *fuzzy*, dapat diketahui kategori dari variabel *input* dan *output*. Contohnya adalah nomor 1 pada tabel 4 hasil *fuzzy* FMEA, diketahui *severity*, *occurance* dan *detection* bernilai 4,3 (*high*), 2,4(*low*) dan 4 (*high*) sehingga memiliki nilai FRPN 7,63. Sehingga dapat diketahui dari aturan tersebut, FRPN dikategorikan sebagai *low high*.

d. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah tahap penegasan yang merubah output menjadi sebuah bilangan tegas yaitu *fuzzy risk priority number* (FRPN). Gambar 6 merupakan proses defuzzifikasi yang menggunakan perangkat lunak matematika berbasis matrix. Berdasarkan gambar tersebut, diketahui *occurance* bernilai 3,4 (*medium*) *severity* bernilai 2,7 (*medium*) dan *detection* bernilai 3 (*medium*) sehingga didapatkan FRPN sebesar 5,72 (*medium*).



**Gambar 6.** Hasil Defuzzifikasi

Setelah dilakukan seluruh tahapan, selanjutnya adalah memberikan peringkat dari FRPN yang telah didapatkan dari setiap risiko yang terdapat pada proses *goliath crane*.

**Tabel 4.** Hasil Analisis Menggunakan *Fuzzy FMEA*

No	Komponen dan Fungsi	Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan Potensial	Severity	Occurance	Deteksi	FRPN	Prioritas
1	Fixed and Hinged Legs sebagai kaki crane	Crack pada sambungan	Korosi pada sambungan	4,3	2,4	4	7,63	1
2	Main girder sebagai konstruksi atas goliath	Crack pada main girder	Cuaca ekstrem dan usia crane	4,0	2,4	4	7,24	2
3	<i>Thruster</i> sebagai sistem pengereman utama	Kampas rem aus	Umur brake yang melebihi batas	4,3	3,4	4	7,09	3
4	<i>Electric Motor</i> sebagai penggerak gear untuk <i>goliath</i>	Motor longtravel terbakar	Terjadi short circuit	3,0	2,8	3	6,45	4
5	<i>Anti-collision sensors</i>	Sensor rusak atau error	Terdapat kabel sensor yang terputus	3,3	2,6	2	5,76	5
6	<i>Gear reducer</i> berfungsi sebagai penggerak	Gigi penggerak aus	Kurangnya pelumasan	2,7	2,6	3	5,72	6



Analisis Risiko Goliath Crane Dengan Menggunakan Metode Fuzzy FMEA di Perusahaan Galangan Kapal

No	Komponen dan Fungsi	Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan Potensial	Severity	Occurance	Deteksi	FRPN	Prioritas
7	<i>Coupling</i> berfungsi menghubungkan putaran motor dengan <i>gearbox</i>	Bearing rusak	Beban penggunaan Goliath	2,3	2,6	3	5,46	7
8	<i>Drive inverter</i> (VFD) untuk mengendalikan putaran motor	Troubleshoot pada inverter	Debu yang menempel pada fan dan kapasitor starter pada fan tidak berfungsi	2,0	3,0	2	4,95	8
9	<i>Crane wheels</i> sebagai media penggerak crane	Bearing aus	Penggunaan crane secara terus menerus	2,3	2,8	3	4,76	9
10	<i>Rail wheel</i> berfungsi sebagai lintasan goliath	Sambungan rel patah	Gesekan secara terus menerus dan cuaca	2,0	2,6	3	4,28	10
11	PLC, mengubah arus AC menjadi DC	Program rusak	Tidak melakukan pembersihan PLC secara teratur	2,3	2,8	2	3,76	11
12	Cabin	Tombol pengoperasian rusak	Frekuensi pemakaian	1,3	2,2	1	1,82	12
13	Box Panel	Short circuit	Sambungan kabel yang tidak sempurna	2,7	2,8	3	5,72	13

Berdasarkan hasil dari hasil analisis, terdapat 3 risiko yang memiliki nilai FRPN lebih dari 7 atau nilai risiko tinggi (kategori *high medium-low high*). Ketiga risiko tersebut adalah *fixed and hinged legs*, *main girder*, dan *thruster*. Kegagalan dari ketiga komponen tersebut tentunya memiliki risiko yang tinggi, sehingga apabila terjadi dapat menyebabkan luka sampai dengan kematian dari pekerja. *Fixed and hinged legs* sebagai penopang utama *crane* dan *main girder* sebagai konstruksi atas *crane* tentunya telah memiliki standar yang tinggi untuk menunjang keamanan *goliath crane*, tetapi dengan masa penggunaan *crane* yang mencapai 30 tahun dan kelelahan material bukan tidak mungkin akan menyebabkan *crane* untuk roboh dan menyebabkan pekerja yang berada dibawahnya terluka atau bahkan meninggal dunia (Nevsimal-Weidenhoffer et al., 2013). Menurut *expert* dari perusahaan, dilakukan sertifikasi kelayakan oleh lembaga sertifikasi untuk mengetahui kelayakan komponen-komponen dari *goliath crane*.

#### 4. Kesimpulan

Hasil dari analisis dengan fuzzy FMEA ditunjukkan bahwa terdapat tiga kegagalan komponen yang memiliki risiko tinggi dengan kategori fuzzy high medium sampai dengan low high dengan nilai FRPN 7,63, 7,24, dan 7,09. Rekomendasi yang dapat diberikan untuk ketiga komponen tersebut adalah:

1. *Fixed* dan *hinged legs* sebagai penopang utama *goliath crane* harus dilakukan inspeksi oleh *maintenance* secara visual dengan teratur. Selanjutnya direkomendasikan untuk dilakukan pengujian sambungan las dan kekuatan struktur oleh pihak eksternal.
2. *Main girder* sebagai konstruksi atas *goliath crane* harus diinspeksi secara teratur oleh tim *maintenance* untuk melihat apakah terdapat korosi atau tanda-tanda secara visual lainnya. Pengujian kekuatan struktur juga direkomendasikan untuk dilakukan.
3. *Thruster brake* sebagai pengereman *goliath crane* direkomendasikan untuk dilakukan pengujian sebelum crane dioperasikan. *Oil pressure* juga harus dilakukan pengecekan secara teratur untuk memastikan komponen *thruster* dapat bekerja dengan baik.

#### Ucapan terima kasih

#### Daftar Pustaka

- Abdelgawad, M. dan Fayek, A.R. (2010) "Risk Management in the Construction Industry Using Combined Fuzzy FMEA and Fuzzy AHP," *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), hal. 1028–1036. Tersedia pada: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000210](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000210).
- Badan Standardisasi Nasional (2016) "SNI IEC/ISO 31010:2016 Manajemen risiko – Teknik penilaian risiko."
- Baykasoğlu, A., Gölcük, İ. Comprehensive fuzzy FMEA model: a case study of ERP implementation risks. *Oper Res Int J* 20, 795–826 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12351-017-0338-1>
- Braglia, M., Frosolini, M., & Montanari, R. (2003). Fuzzy Criticality Assessment Model for Failure Modes and Effects Analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 20(4), 503–524.
- Fazle Rabbi, M. (2018). Assessment of Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for Reach Stacker Crane (RST): A Case Study. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 7(3), 336–348.
- Ham, S. H., Roh, M. Il, & Lee, H. (2016). Simulation of Load Lifting with Equalizers Used in Shipyards. *Automation in Construction*, 61, 98–111.
- Hong, K. dan Shah, U.H. (2019) *Control Dynamics and Control of Industrial Cranes*. Advances in Busan: Springer. Tersedia pada: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-13-5770-1%0A>.
- Kumru, M., & Yıldız, P. (2013). Fuzzy FMEA Application to Improve Purchasing Process in A Public Hospital. *Applied Soft Computing Journal*, 13(1), 721–733.
- Lee, H.W., Roh, M. Il dan Ham, S.H. (2021) "Underactuated crane control for the automation of block erection in shipbuilding," *Automation in Construction*, 124(January), hal. 103573. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103573>.

- Liu, H. C., Liu, L., Bian, Q. H., Lin, Q. L., Dong, N., & Xu, P. C. (2011). Failure Mode And Effects Analysis Using Fuzzy Evidential Reasoning Approach And Grey Theory. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 4403–4415.
- Liu, HC., You, JX., Shan, MM. et al. Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid TOPSIS approach. *Soft Comput* 19, 1085–1098 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00500-014-1321-x>
- McDermott, R., Beauregard, M., & Bennett, M. A. (2009). *The Basics of FMEA*. In *The Basics of FMEA* (2nd, Revis ed.). CRC Press.
- Nevsimal-Weidenhoffer, V., Tsouvalis, N., & Papazoglou, V. (2013). Goliath Gantry Cranes – Their Steel Structure – A Neglected Element: Experiences in Surveillance and Reconditioning of the Last Two Decades.
- Sadollah, A. (2018). Introductory Chapter: Which Membership Function is Appropriate in Fuzzy System? In A. Sadollah (Ed.), *Fuzzy Logic Based in Optimization Methods and Control Systems and Its Applications*. IntechOpen.
- Sahadewa, A. A., & Wikarta, A. (2017). Redesain Overhead Crane dengan Analisa Kegagalan Di PLTU Paiton Berbasis Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 264–267.
- Shaputra, S. B., Khoiriyah, N., & Fatmawati, W. (2021). Human Reliability Analysis pada Operator Grinding dan Welding Galangan Kapal dengan Pendekatan Cognitive Reliability and Error Analysis Method (Cream). *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 11(1), 59–65.
- Widianti, T., & Firdaus, H. (2017). *Penilaian Risiko Instansi Pemerintah dengan Fuzzy - Failure Mode and Effect Analysis*. LIPI Press.
- Xiong, L., & Fan, W. (2015). Maintenance Strategy for Steel Structures of Large Gantry Crane Based on Fatigue Reliability. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29(2), 1–5.
- Singh, K., Raj, N., Sahu, S. K., Behera, R. K., Sarkar, S., & Maiti, J. (2017). Modelling safety of gantry crane operations using Petri nets. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 24(1), 32–43. <https://doi.org/10.1080/17457300.2015.1056809>
- Stamatis, D.H. (2014) *The ASQ Pocket Guide to Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. ASQ Quality Press.