

Analisis Risiko Kegagalan Komponen Tower Crane pada Proyek RSIA Kaliwaron Menggunakan Metode FMEA

Muhammad Kemal Fahrezi Riswanda¹, Mochammad Choirul Rizal², Moch. Luqman
Ashari³ dan Suwassono⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik
Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

⁴ PT. Prambanan Dwipaka, Surabaya, 60283

*E-mail: mc.rizal@ppns.ac.id

Abstrak

Proyek konstruksi adalah suatu kegiatan yang mempunyai jangka waktu tertentu dengan sumber daya terbatas untuk melaksanakan suatu tugas yang telah ditentukan berupa pembangunan atau perbaikan sarana fasilitas (gedung, jalan, jembatan, bendungan). Pekerjaan yang dilakukan di Proyek Rumah Sakit Ibu dan Anak Kaliwaron yaitu pekerjaan struktur bawah dan struktur atas. Pekerjaan struktur terdiri dari pekerjaan kolom, pekerjaan balok, pekerjaan pelat lantai, pekerjaan dinding, pekerjaan tangga. Pekerjaan struktur mempengaruhi kinerja dari arsitektur, kecepatan dalam pengerjaan struktur bangunan dipengaruhi juga oleh pemilihan alat berat yang digunakan. *Tower crane* merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengangkat material secara *vertikal* dan *horizontal* ke suatu tempat yang tinggi pada ruang gerak terbatas. Aktivitas *Tower Crane* di Project digunakan untuk memfasilitasi kebutuhan material didalam maupun diluar Proyek yang masih terjangkau radius dari *Tower Crane*. Penggunaan *Tower Crane* di Proyek sangat riskan terjadinya kegagalan pada komponen, dikarenakan proses kerja *Tower Crane* sangat padat dengan jam kerja 24 jam non stop, sehingga *Tower Crane* sering mengalami *maintanance*. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa mode kegagalan dari *Tower Crane* dengan menggunakan metode *Failuire Mode and Effect Analysis* (FMEA). Metode ini mampu mengidentifikasi kemungkinan penyebab dan dampak yang akan diakibatkan oleh suatu mode kegagalan potensial dari komponen-komponen *Tower Crane*, dengan melakukan perhitungan nilai RPN dari total 22 komponen *Tower Crane* yang sudah didapatkan. Dari hasil analisis diketahui nilai dengan RPN tertinggi yaitu pada komponen *slewing mechanism* dengan nilai RPN 126, kemudian untuk nilai dengan RPN terendah dari komponen *lighting* dengan nilai RPN 12.

Kata Kunci: *Tower Crane, Failuire Mode and Effect Analysis (FMEA), Risk Priority Number (RPN).*

Abstract

A construction project is an activity that has a certain time period with limited resources to carry out a predetermined task in the form of building or repairing facilities (buildings, roads, bridges, dams). The work carried out on the Kaliwaron Mother and Child Hospital Project is lower structure and upper structure work. Structural work consists of column work, beam work, floor plate work, wall work, stair work. Structural work affects architectural performance, the speed of building structural work is also influenced by the choice of heavy equipment used. A tower crane is a tool used to lift materials vertically and horizontally to high places with limited space. Tower Crane activities on the Project are used to facilitate material needs inside and outside the Project within the Tower Crane radius. The use of Tower Cranes in Projects is very risky for component failure, because the Tower Crane work process is very busy with 24 hour non-stop working hours, so the Tower Crane often undergoes maintenance. The aim of this research is to analyze Tower Crane failure modes using Failuire Mode and Effect Analysis (FMEA). This method is able to identify possible causes and impacts arising from potential failure modes of Tower Crane components, by calculating the RPN value of a total of 22 Tower Crane components that have been obtained. From the analysis results, it is known that the value with the highest RPN is for the slewing mechanism component with an RPN value of 126, then for the value with the lowest RPN for the lighting component with an RPN value of 12.

Keywords: *Tower Crane, Failuire Mode and Effect Analysis (FMEA), Risk Priority Number (RPN).*

1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi adalah suatu kegiatan yang mempunyai jangka waktu tertentu dengan sumber daya terbatas untuk melaksanakan suatu tugas yang telah ditentukan berupa pembangunan atau perbaikan sarana fasilitas (gedung, jalan, jembatan, bendungan), atau berupa kegiatan penelitian/pengembangan. Dari pengertian tersebut, maka proyek merupakan kegiatan yang bersifat sementara (waktu terbatas), tidak berulang, tidak bersifat rutin, mempunyai waktu awal dan akhir, sumber daya terbatas, dan dimaksudkan untuk mencapai sasaran yang ditentukan. Proyek konstruksi merupakan suatu rangkaian kegiatan untuk mencapai suatu tujuan (bangunan atau konstruksi) dengan batasan waktu, biaya dan mutu tertentu (Kerzner, 2009). Bidang Konstruksi adalah teknik pembangunan berupa bangunan gedung dan bangunan sipil, khususnya dengan disiplin profesional yang bisa digunakan untuk mendesain dan membangun infrastruktur. Bidang konstruksi memiliki tingkat risiko kecelakaan yang tinggi. Maka dari itu, pentingnya keberadaan *Health Safety Environment* (HSE) pada proyek-proyek pembangunan untuk meminimalisir tingkat risiko kecelakaan kerja.

Proyek Waron *Hospital* dikerjakan oleh 2 Kontraktor sekaligus yaitu Kerjasama Sama Operasional PT. Prambanan Dwiwaka - PT. Sinar Waringin Adikarya. Proyek Waron *Hospital* dibangun karena kualitas, fasilitas jumlah Kesehatan Ibu dan Anak (RSIA) di Surabaya belum ada yang berstandar Internasional. Waron Hospital juga sebagai rujukan Rumah sakit dengan masalah Kesehatan perempuan dan anak. Luas dari Rumah Sakit ini diperkirakan 4.742m² kemudian dilengkapi dengan 99 tempat tidur dan memiliki ketinggian Gedung 12 lantai. Pembukaan *Ground Breaking* pembangunan Rumah Sakit dilaksanakan pada tanggal 01/03/2023.

Alat yang sering digunakan pada proyek bangunan bertingkat adalah *Tower Crane*. *Tower Crane* adalah alat pengangkat dan pemindahan material, yang bekerja dengan prinsip kerja tali (Chudley, 2004). Penamaan *tower* karena memiliki rangka *vertikal* dengan bentuk standart dan ditancapkan pada perletakan yang tetap. Fungsi utama dari *tower crane* adalah mendistribusikan material dan peralatan yang dibutuhkan oleh proyek baik dalam arah *vertikal* maupun *horizontal* (Rostiyanti, 2008).

Kegagalan saat pengoperasian tower crane bisa memiliki dampak yang signifikan pada proyek RSIA Kaliwara. Contoh kegagalan dengan salah satu masalah yang serius adalah pada pondasi tower crane, dimana jarak antara pondasi pada dinding basement hanya 80 cm, sehingga kegagalan pada pengoperasian sangat riskan terjadi, seperti kerusakan pada komponen *hook* yang disebabkan karena benturan pada struktur basement pada proses pemindahan material yang minim akan space untuk melakukan jangkauan radiasi tower crane tersebut. Dampak dari kegagalan tersebut ialah mengganggu proses produktivitas kinerja proyek akan terhambat dengan perbaikan atau maintenance pada komponen tower crane tersebut dan bisa tidak sesuai *schedule* yang telah ditargetkan. Maka kesalahan harus dihindari untuk mengurangi risiko yang buruk terhadap kinerja operasional (Ambarwati, 2020)

Penelitian ini akan mengidentifikasi kegagalan pengoperasian *tower crane* pada Proyek Waron *Hospital* dengan menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA). Penggunaan metode FMEA dipilih karena menyatakan bahwa FMEA menganalisis kerusakan dan dampaknya serta untuk menentukan komponen kritis, menyelesaikan masalah yang muncul pada malfungsi system peralatan Menurut (Setiawan, 2014). Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan tahap mengidentifikasi tingkat keparahan kegagalan (*severity*), tingkat kejadian terjadinya kegagalan produk (*occurrence*), dan tingkat deteksi munculnya kegagalan (*detection*) Menurut (Ardiansyah, 2018). Selanjutnya menghitung nilai Risk Priority Number (RPN) yang berasal dari kombinasi *Occurrence* (O), *Severity* (S) dan *Detection* (D) (Aprianto dkk., 2021)..

2. METODE

Penelitian ini, alur dan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis potensi kegagalan pada komponen *tower crane*. Penelitian dimulai dengan tahap identifikasi aspek krusial dari pengoperasian *tower crane*, seperti bagian komponen-komponen yang rentan terhadap kegagalan atau kondisi yang mempengaruhi kinerja mereka. Tahap berikutnya melibatkan team *expert judgement* yang terdiri dari mekanik *tower crane*, operator *tower crane*, dan *safety officer* di lapangan, untuk memberikan informasi mengenai data *manual book tower crane*, komponen-komponen dari *tower crane*, kegagalan pengoperasian *tower crane*, serta melakukan validasi hasil dari pengerjaan *worksheet* FMEA kemudian penentuan penilaian dari *severity*, *occurrence*, dan *detection*.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Metode FMEA merupakan teknik evaluasi keandalan dari sebuah sistem untuk menentukan efek dari kegagalan dari sistem tersebut. Kegagalan digolongkan berdasarkan dampak yang diberikan terhadap kesuksesan suatu misi dari sebuah system (Mustaqim R, 2022). *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) merupakan alat yang digunakan untuk menganalisa keandalan suatu sistem dan penyebab keagalannya untuk mencapai persyaratan keandalan

dan keamanan sistem, desain dan proses dengan memberikan informasi dasar mengenai prediksi keandalan sistem, desain, dan proses (Hendra R, 2023). Metode ini tidak hanya menemukan resiko tertinggi secara akurat dan cepat tetapi juga mengatasi kekhawatiran tentang kehilangan informasi (Fernandi, 2022)

Metode *Failure Mode and Effect Analisis* (FMEA) merupakan tahap mengidentifikasi tingkat keparahan kegagalan (*severity*), tingkat kejadian terjadinya kegagalan produk (*occurance*), dan tingkat deteksi munculnya kegagalan (*detection*) Menurut (Ardiansyah, 2018). Perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) yaitu dengan cara mengalikan nilai keparahan (*severity*), nilai kejadian (*occurance*), dan nilai deteksi (*detection*). Setelah menghitung nilai RPN maka akan didapatkan nilai RPN yang telah dihasilkan dari mengalikan nilai *severity*, *occurance*, dan *detection* dari setiap mode kegagalan yang didapat, selanjutnya mengurutkan nilai RPN yang terbesar sampai dengan yang terkecil untuk melakukan langkah perbaikan sesuai dengan nilai RPN yang terbesar.

Severity

Severity adalah langkah pertama untuk menganalisis resiko yaitu menghitung seberapa besar dampak/intensitas kejadian mempengaruhi output proses (Y. Syarifudin & Pusakaningwati, 2023). Bila pernah maka penilaian akan lebih mudah, tetapi belum pernah maka penilaian menggunakan estimasi yang didasarkan pada pendapat ahli (*expert judgement*). Penilaian *severity* ini membantu dalam menetapkan prioritas untuk tindakan mitigasi resiko.

Tabel 1. Penilaian Saverity

Tingkat Keparahahan	Tingkat Keparahahan Dampak	Peringkat
Berbahaya tanpa peringatan	Kegagalan tidak didahului oleh peringatan	10
Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan didahului oleh peringatan	9
Sangat tinggi	Produk tidak dapat dioperasikan	8
Tinggi	Produk dapat dioperasikan dengan tingkat kinerja yang banyak berkurang	7
Sedang	Produk dapat dioperasikan tetapi sebagian item tambahan (fungsi sekunder) tidak dapat berfungsi	6
Rendah	Produk dapat dioperasikan dengan tingkat kinerja yang sedikit berkurang	5
Sangat rendah	Cacat disadari oleh pelanggan (>75%)	4
Minor	Cacat disadari oleh pelanggan (50%)	3
Sangat minor	Cacat disadari oleh pelanggan (<25%)	2

Sumber: Pamungkas et al., 2019

Occurance

Penilaian *occurrence* (kejadian) dalam metode FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) adalah evaluasi terhadap seberapa sering suatu kegagalan atau mode kegagalan mungkin terjadi dalam suatu sistem, produk, atau proses. Penilaian ini berguna untuk menentukan seberapa besar kemungkinan kegagalan tersebut akan terjadi dan seberapa sering perlu dilakukan tindakan pencegahan atau perbaikan. *Occurance* disebut juga sebuah penilaian dengan tingkatan tertentu dimana adanya sebab kerusakan secara mekanis yang terjadi pada peralatan tersebut.

Tabel 2. Penilaian Occurance

Probabilitas Kejadian Risiko	Deskripsi	Peringkat
Sangat tinggi	Sering terjadi	10
	Terjadi berulang	9
Tinggi	20 per seribu 1 dari 50	8
	10 per seribu 1 dalam 100	7
Sedang	Jarang terjadi	6
	0,5 per seribu 1 dalam 2000	5
	0,1 per seribu 1 dalam 10.000	4
Rendah	Sangat jarang terjadi	3
	≤ 0.001 per seribu 1 dalam 1.000.000	2
Sangat rendah	Hampir tidak pernah terjadi	1

Sumber: Pamungkas et al., 2019.

Detection

Penilaian *detection* dalam metode FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) merupakan salah satu aspek

yang sangat penting. Ini mengacu pada kemampuan untuk mendeteksi kegagalan atau potensi kegagalan sebelum atau setelah terjadi. Penilaian *detection* biasanya dilakukan dengan memberikan skor untuk menggambarkan seberapa efektif sistem deteksi atau kontrol yang ada dalam mengidentifikasi kegagalan. Menetapkan peringkat *detection* untuk setiap efek yang ditimbulkan. Peringkat *detection* dilihat dari bagaimana kegagalan atau efek dari kegagalan dapat terdeteksi.

Tabel 3. Penilaian *Detection*

Deteksi	Kemungkinan Deteksi	peringkat
Hampir tidak mungkin	Pengontrol tidak dapat mendeteksi kegagalan	10
Sangat jarang	Sangat jauh kemungkinan pengontrol akan menemukan potensi kegagalan	9
Jarang	Jarang kemungkinan pengontrol akan menemukan potensi kegagalan	8
Sangat rendah	Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan sangat rendah	7
Rendah	Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan rendah	6
Sedang	Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan sedang	5
Agak tinggi	Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan agak tinggi	4
tinggi	Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan tinggi	3
Sangat tinggi	Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan sangat tinggi	2
Hamper pasti	Kegagalan dalam proses tidak dapat terjadi karena telah dicegah melalui desain solusi	1

Sumber: Pamungkas et al., 2019.

Nilai *Risk Priority Number* (RPN)

Menghitung *Risk Priority Number* (RPN) untuk setiap efek yang ditimbulkan. *Risk Priority Number* (RPN) diperoleh dengan cara mengalikan *severity*, *occurrence*, dan *detection* (McDermott, 2009). Nilai RPN menunjukkan bahwa suatu failure mode semakin penting untuk segera diatasi (Suseno & Ihza Kalid, 2022)

$$RPN = \text{Severity} \times \text{Occurance} \times \text{Detection}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Worksheet FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) adalah alat atau formulir yang digunakan dalam proses FMEA. FMEA sendiri adalah suatu metode sistematis untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi potensi kegagalan dalam suatu proses, produk, atau sistem, serta menentukan langkah-langkah untuk mengurangi risiko atau dampak dari kegagalan tersebut. Untuk masing –masing komponen, berbagai mode kegagalan berikut dampaknya pada sistem ditulis pada sebuah FMEA worksheet (Setyawan, 2021). Ini dilakukan dengan menilai tingkat keparahan (*severity*), kemungkinan kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detection*) dari setiap kegagalan potensial. *Worksheet FMEA* ini membantu tim untuk mengorganisir informasi secara terstruktur dan memfasilitasi proses analisis risiko yang komprehensif. Berdasarkan hasil analisis, worksheet FMEA memungkinkan tim untuk mengembangkan strategi pencegahan dan perbaikan yang sesuai. Ini termasuk mengidentifikasi kontrol atau sistem deteksi tambahan yang diperlukan untuk mengurangi risiko kegagalan. Proses pembuatan atau pengisian worksheet FMEA dari 22 komponen pada *Tower Crane* tersebut, dibantu dan dilakukan validasi oleh team *expert judgement*. *Worksheet* yang sudah diketahui mode kegagalan, penyebab kegagalannya, dampak, tindakan pencegahan penyebab, dan mendeteksi kegagalannya, akan diberikan nilai RPN.

Tabel 4. Worksheet FMEA komponen-komponen Tower Crane

System: Tower Crane				Date:					
Subsystem: Tower Crane				Years: 2024					
NO	Component	Potential Failure Mode	Effect Of Failure	Severity	Potential Cause of Failure	Occurrence	Current Control	Detection	RPN
1	Slewing mechanism	Kampas pada brake putar mengalami aus	Proses pengoperasian slewing secara terus menerus sehingga mengalami aus pada kampas brake	7	Gagal melakukan pengereman pada saat mengatur putaran turntable sehingga tower crane tidak bisa bekerja secara maksimal	6	Mengganti kampas yang sudah usang dengan mekanik sehingga pengoperasian bisa berjalan normal	3	126
2	Upper coupling	Gigi penggerak gearbox mengalami keretakan	Gigi tidak bisa mengatur putaran turntable	8	Penggunaan gearbox diluar batas kapasitas menyebabkan overloading	5	Pemeliharaan secara berkala dengan mekanik dan penggantian gigi yang rusak apabila sangat dibutuhkan	2	80
3	Lighting	Konsleting pada lampu	Lampu yang sudah usang dan sudah lama terjadi konsleting	2	Pengoperasian TC akan terhambat karena pada saat shift malam penerangan kurang	3	Dilakukan penggantian bola lampu pada TC oleh team mekanik dan electrical	2	12

Pada Tabel 4 terdapat komponen-komponen Tower Crane yang sudah diketahui mode kegagalan, penyebab kegagalannya, dampak, tindakan pencegahan penyebab, dan mendeteksi kegagalannya. Pengisian worksheet ini dilakukan dengan berdiskusi dan sudah divalidasi oleh team expert judgement untuk potensi kegagalan pada komponen-komponen yang ada. Tabel 4 terdapat nilai Severity, Occurance, dan Detection. Penentuan nilai tersebut mengacu pada tabel 1, 2, dan 3 dengan mengacu Pamungkas, (2019). Kemudian setelah mendapatkan nilai severity, occurrence, dan detection maka akan dilakukan penilaian untuk mengetahui seberapa besar RPN yang didapatkan. Berikut tabel 5 yang menunjukkan perhitungan dari nilai RPN pada komponen worksheet FMEA yang sudah divalidasi oleh team expert judgement.

Tabel 5. Perhitungan nilai RPN dari tertinggi ke terendah

No	Komponen	S x O x D	Nilai RPN
1	Slewing mechanism	7 x 6 x 3	126
2	Derrecking trolley	7 x 5 x 3	105
3	Attaching device	8 x 3 x 4	96
4	Transition section	6 x 4 x 4	96
5	Counter weight block	8 x 4 x 3	96
6	Electrical control	8 x 3 x 4	96
7	Jacking device	7 x 3 x 4	84
8	Driver's cab	7 x 4 x 3	84
9	Counter jib	7 x 3 x 4	84
10	Upper coupling	8 x 5 x 2	80
11	Tie rod kit of jib boom	5 x 4 x 4	80
12	Derrecking mechanism	5 x 5 x 3	75
13	Tower cap	7 x 3 x 3	63
14	Hook kit	7 x 3 x 3	63

Lanjutan Tabel 5. Perhitungan nilai RPN dari tertinggi ke terendah

15	<i>Hoisting block</i>	6 x 2 x 5	60
16	<i>Tie rod kit of counter jib</i>	6 x 3 x 3	54
17	<i>Angkur</i>	6 x 2 x 4	48
18	<i>Bell socket frame</i>	5 x 3 x 3	45
19	<i>Lower coupling</i>	7 x 2 x 3	42
20	<i>Mast section</i>	5 x 2 x 3	30
21	<i>Jib boom</i>	5 x 3 x 2	30
22	<i>Lighting</i>	2 x 3 x 2	12

Nilai RPN didapatkan dengan cara melakukan perkalian antara *severity*, *occurance*, dan *detection*. Penilaian *Severity*, *Occurance*, dan *Detection* serta aspek pada proses FMEA tersebut ditentukan oleh hasil *brainstroming* dengan *team expert judgment* pada *project*. Pada tabel 5, diurutkan komponen dengan nilai RPN tertinggi ke terendah. Hasil keseluruhan dari perhitungan nilai RPN pada setiap komponen-komponen *Tower Crane* yang memiliki 3 nilai RPN tertinggi yaitu *slewing mechanism* dengan nilai RPN 126, *derrecking trolly* dengan nilai RPN 105, dan *attaching device* dengan nilai RPN 96.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa pada 22 komponen dari *tower crane* yang sudah diketahui dengan menggunakan metode FMEA dan penentuan *priority* dengan menggunakan perhitungan RPN dapat diberikan kesimpulan. Nilai dengan RPN tertinggi yaitu pada komponen *slewing mechanism* dengan nilai RPN 126, kemudian untuk nilai dengan RPN terendah dari komponen *lighting* dengan nilai RPN 12. Kegagalan atau kerusakan pada koponen *tower crane* dengan 3 RPN tertinggi yaitu *slewing mechanism* disebabkan oleh kampas pada brake putar mengalami aus, *derrecking trolly* dengan nilai RPN 105 disebabkan oleh gigi penggerak pada *gearbox* mengalami keretakan, dan *attaching device* dengan nilai RPN 96 disebabkan oleh *safety latch* pada *hook* mengalami aus.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprianto, T., Setiawan, I., & Purba, H. H. 2021. Implementasi metode Failure Mode and Effect Analysis pada Industri di Asia–Kajian Literature. *Matrik: Jurnal Manajemen dan Teknik Industri Produksi*, 21(2), 165-174.
- Ardiansyah, N., Wahyuni, H.C., 2018. Analisis Kualitas Produk Dengan Menggunakan Metode Fmea Dan Fault Tree Analisis (Fta) Di Exotic Ukm Intako. *Prozima Product. Optim. Manuf. Syst. Eng.* 2, 58–63.
- Chudley, R. dan Greeno, R. 2004. *Building Construction Handbook*, 5th Edition. Elsevier Ltd. New York.
- Fernandi, R. F. (2022). Analisis Resiko Kegagalan Proses Kain jadi Polyester Menggunakan Metode FMEA pada PT XYZ Karawang. *Syntax Idea*, 4(6), 941-950.
- Hendra Rizqya, and Naniek Utami Handayani., 2023. "Analisi Pengendalian Kualitas Produk Kain Grey PS 946 Dalam Upaya Mengurangi Tingkat Kecacatan Produk Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Dan Pendekatan Kaizen (STUDI KASUS PT. PRIMISSIMA)." *Industrial Engineering Online Journal* 12.3.
- Kalid, S. I. 2022. Pengendalian Kualitas Cacat Produk Tas Kulit Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) Dan Fault Tree Analysis (FTA) Di Pt Mandiri Jogja Internasional. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 1(6), 1307-1320.
- Kerzner, H. 2009. *Project Management : A System Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (Tenth). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Mustaqim R, Ismiah, Elly, and Dzakiyah Widyaningrum., 2021. Analisis Kegagalan Pada Proses Repair Komponen Alat Berat Di PT.Surabaya Steel Construction Works Dengan Metode FMEA. *JUSTI*, 2 (4). 2746-9835
- Pamungkas, I., Irawan, H.T., Arkanullah, L., Dirhamsyah, M., 2019. Penentuan Tingkat Risiko Pada Proses Produksi Garam Tradisional Di Desa Ie Leubeu Kabupaten Pidie. *Jurnal Optimalisasi*, 5 (2)
- Rostiyanti Fatena., 2008. *Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi*. PT Asdi Mahasatya. Edisi 2. Jakarta, Rineka Cipta.
- Robin E. McDermott, Raymond J. Mikulak, Michael R. Beauregard., 2009. *The Basic OF FMEA* 2nd edition. New York, Taylor & Francis Group.
- Setiawan, I. 2014. FMEA sebagai Alat Analisa Risiko Moda Kegagalan pada Magnetic Force Welding Machine ME-27.1. *PIN Pengelolaan Instalasi Nuklir*, (13).
- Setyawan, E. 2021. Analisis Breakdown Drive System Menggunakan Failure Method Effect Analysis Di Pt Latinusa, Tbk Cilegon. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 1(1), 34-45.
- S, R. Ambarwati., & Supardi. 2021. *Buku Ajar Manajemen Operasional Dan Implementasi Dalam Industri*. *Umsida Press*, 1-947.
- Syarifudin, Y., & Pusakaningwati, A. 2023. Analisis Pengendalian Kualitas Produk Stan Kontainer Dengan Metode FMEA (Failure Mode And Effect Analysis) Di Bengkel Las Mulia Utama Perkasa. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(11), 4177-4188.