

Analisis Teknis Dan Ekonomis Kinerja Mesin Derek Sebagai Alat Bongkar Muat Di Atas Kapal VWX Menggunakan Metode FMEA

Ajeng Oviva Sukmawati^{1*}, Minto Basuki²

^{1*}Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia

²Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia

Jalan Arief Rachman Hakim No. 100, Surabaya, Jawa Timur, kode pos 60117

*Corresponding author : ajengovivar@gmail.com

Abstract. Cargo handling operations on the vessel VWX rely on the performance of cranes as the primary equipment for lifting and moving cargo. Demanding operational conditions and suboptimal crane maintenance expose the cranes to various potential failure modes. This study aims to identify failure modes in the cranes used on the VWX, analyze the causes of each failure mode, and assess the resulting technical and economic impacts on cargo handling operations. A qualitative descriptive research method was employed, utilizing direct observation, interviews with the crew, and document analysis. The Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method was applied to assess the risk level of each component based on severity, occurrence, and detection ratings, thereby calculating the Risk Priority Number (RPN). The study identified seven potential failure modes, with the two highest-ranked being: Rank 1—a drop in hydraulic pump pressure (RPN 200; financial loss of IDR 69,220,000) and Rank 2—a short circuit in the electric motor (RPN 160; financial loss of IDR 72,580,000). These financial losses stemmed from downtime, repair costs, and potential cargo damage. The study recommends improved maintenance and monitoring to ensure optimal crane performance and minimize the risk of failure.

Keywords: Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Financial loss, Crane, RPN

Abstrak. Kegiatan bongkar muat di atas kapal VWX bergantung pada kinerja mesin derek sebagai peralatan utama untuk pengangkatan dan pemindahan muatan. Kondisi operasional yang berat serta pemeliharaan mesin derek yang belum optimal menyebabkan mesin derek berpotensi mengalami berbagai mode kegagalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi mode kegagalan pada mesin derek yang digunakan di kapal VWX, menganalisis penyebab setiap mode kegagalan, dan menilai dampak teknis serta ekonomis yang ditimbulkan terhadap kegiatan bongkar muat. Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif deskriptif melalui observasi langsung, wawancara dengan awak kapal serta analisis dokumentasi. Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) diterapkan untuk menilai tingkat risiko setiap komponen berdasarkan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* sehingga menghasilkan nilai RPN. Dari hasil penelitian ini didapatkan 7 *potential failure mode* dan didapatkan 2 mode kegagalan tertinggi yaitu *ranking* 1 turunnya tekanan pada pompa hidrolik dengan nilai RPN 200 serta kerugian finansial Rp 69.220.000,- dan *ranking* 2 yaitu terjadinya *short circuit* pada motor listrik dengan nilai RPN 160 dan kerugian finansial Rp 72.580.000,-. Dimana kerugian tersebut disebabkan dari adanya *downtime*, biaya perbaikan, dan potensi kerusakan muatan. Penelitian ini merekomendasikan peningkatan perawatan dan pengawasan agar kinerja mesin derek tetap optimal dan meminimalkan risiko kegagalan

Kata kunci: Failure Mode Effect Analysis (FMEA), Kerugian finansial, Mesin derek, RPN

1. LATAR BELAKANG

Indonesia sebagai sebuah negara dengan kekuatan maritim sangat bergantung pada transportasi melalui laut untuk mendukung kegiatan ekonomi nasional. Kapal memiliki peranan krusial sebagai alat untuk mendistribusikan barang dan penumpang, terutama dalam sektor perdagangan yang membutuhkan efisiensi tinggi dalam proses muat dan bongkar di pelabuhan. Proses tersebut sangat dipengaruhi oleh alat bantu seperti mesin derek kapal yang berfungsi untuk mengangkat dan memindahkan muatan antara kapal dengan cara yang efisien dan aman. Kinerja mesin derek yang optimal sangat berpengaruh tidak hanya pada kelancaran proses operasional tetapi juga berdampak langsung pada biaya dan durasi sandar kapal di pelabuhan.

Kapal VWX adalah kapal jenis kargo umum yang dilengkapi dengan tiga mesin derek. Perangkat ini digunakan dalam berbagai kegiatan operasional, termasuk bongkar muat muatan curah dan koli, serta membuka tutup palka. Namun, dalam pelaksanaannya sering kali dihadapi masalah teknis seperti penurunan kapasitas angkat akibat *overheat*, yang mengakibatkan penundaan dalam proses bongkar muat dan berpengaruh dalam efisiensi waktu, serta menyebabkan kerugian ekonomi baik bagi perusahaan pelayaran maupun pemilik barang. Situasi ini menunjukkan perlunya penilaian menyeluruh terhadap kinerja teknis dan ekonomis mesin derek kapal agar operasional berjalan lancar.

Untuk mengenali dan menganalisis potensi kegagalan yang mungkin terjadi pada sistem derek kapal, penelitian ini menerapkan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA). Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi tipe kegagalan, penyebab utamanya, serta dampak yang dapat ditimbulkan terhadap sistem dengan menilai tingkat keparahan, kemungkinan terjadinya, dan kemampuan untuk mendeteksi. Berdasarkan analisis ini, dapat ditentukan prioritas risiko sehingga tindakan pencegahan dan perbaikan dapat dirumuskan secara efisien. Dengan pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam peningkatan keandalan mesin derek kapal, mengurangi risiko *downtime*, serta mendukung efisiensi operasional dan penghematan biaya dalam proses bongkar muat di sektor pelayaran nasional. Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) sudah digunakan oleh beberapa peneliti dalam analisis dalam industri maritim, antara lain (Sugiantara & Basuki, 2019, Daryanto & Basuki 2023, Penangsang dan Basuki, 2024)

2. KAJIAN TEORITIS

Kajian mengenai penelitian sebelumnya sangat penting untuk menempatkan studi ini dalam konteks akademis yang lebih luas. Beberapa studi yang relevan menunjukkan bahwa performa mesin derek berpengaruh besar terhadap efisiensi aktivitas bongkar muat kapal. Hidayat (2024) menemukan bahwa kurangnya keterampilan Tenaga Kerja Bongkar Muat (TKBM) dapat menimbulkan keterlambatan dan risiko kecelakaan dalam pengoperasian derek di MV. Star Wisdom. Putra (2023) melakukan analisis terkait kegagalan *hydraulic crane* di MV. Rasuna Buana dan mengidentifikasi bahwa kerusakan pada *solenoid valve* adalah penyebab utama dari masalah operasional, yang bisa diatasi dengan perawatan rutin dan pelumasan sistem yang tepat. Ferdianto (2024) menerapkan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) untuk mengevaluasi potensi kegagalan sistem *winch* sekoci di kapal ferry. Temuan ini menunjukkan bahwa metode FMEA bermanfaat dalam mengidentifikasi komponen dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang tinggi dan memerlukan perhatian pemeliharaan yang lebih mendalam. Sementara itu, Salam (2024) menekankan pengaruh kerusakan *crane* terhadap keterlambatan dalam proses bongkar muat batu bara di MV. Almeria, yang berdampak langsung pada biaya operasional dan waktu sandar kapal. Dari hasil penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa keandalan mesin derek berkaitan erat dengan aspek teknis dan ekonomis dalam operasi kapal.

Dalam penelitian ini berkaitan erat dengan derek kapal, derek kapal adalah alat pengangkat yang berfungsi untuk memindahkan barang atau muatan dari pelabuhan ke kapal ataupun sebaliknya. Pada kapal tipe *general cargo*, derek biasanya memiliki kapasitas angkat (*safe working load/ SWL*) antara 2 hingga 5 ton dengan putara jangkauan 360 derajat. Bagian utama mesin derek terdiri dari boom, *wire ropes*, *hook*, *shackles*, *block*, *winch*, serta sistem hidrolik dan kontrol listrik. Setiap bagiannya harus memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan oleh *Marine Inspector*, karena kerusakan pada salah satu subsistem dapat menyebabkan keterlambatan operasional dan meningkatkan risiko kecelakaan kerja.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 1. a) boom derek, b) pangung derek dan mesin derek, c) tiang mast, d) wire ropes, e) hook, f) shackles

Sumber: a) dokumentasi penulis, b) dokumentasi penulis, c) dokumentasi penulis, d) kawat.bajabesi.com, e) pxhere.com, f) whscottlifting.com

Kinerja mesin derek dievaluasi berdasarkan kapasitas angkut, kecepatan operasional, keandalan, dan waktu tidak beroperasi (*downtime*). Menurut Asbullah dkk (2024, proses bongkar muat kapal, waktu tunggu kapal, koordinasi antar stakeholder, dan kerusakan peralatan adalah beberapa penyebab keterlambatan. Dari sudut pandang ekonomi, efektivitas mesin derek dinilai melalui indikator biaya siklus hidup (LCC), imbal hasil investasi (ROI), dan titik impas (BEP). Mesin derek yang sering digunakan umumnya memiliki ROI yang tinggi, dan sebaliknya mesin yang sering mengalami *downtime* meningkatkan biaya perawatan dan mengecilkan nilai ROI.

Dengan menggunakan FMEA dapat menemukan, menilai, dan mngurutkan potensi kegagalan dalam sistem, produk, atau proses operasional. Sellappan dan Palanikumar (2013) menyatakan bahwa FMEA akan memeriksa setiap kemungkinan mode kegagalan berdasarkan tiga parameter utama, yaitu *Severity* (S) untuk menilai keparahan dari dampak suatu kegagalan, *Occurrence* (O) untuk menilai seberapa sering kegagalan tersebut dapat terjadi, dan *Detection* (D) untuk menilai seberapa mudah kegagalan dapat dideteksi sebelum terjadi. Ketiga parameter ini akan dikalikan untuk menghasilkan *Risk Priority Number* (RPN):

$$RPN = \text{Severity (S)} \times \text{Occurrence (O)} \times \text{Detection (D)} \dots\dots\dots(1)$$

Semakin tinggi nilai RPN maka semakin besar urgensi perbaikan yang diperlukan. *Severity* adalah penilaian terhadap seberapa besar tingkat keparahan dari dampak yang ditimbulkan (Sulistyarini,2018). Untuk setiap kegagalan yang timbul akan dinilai seberapa besar tingkat keparahannya dengan *rating* mulai skala 1-10 dimana 10 adalah risiko terburuk.

Tabel 1. Tabel Penilaian *Severity*

<i>Risk</i>	<i>Severity</i>	Deskripsi	Dampak Pada Sistem
10	Kegagalan Katalis	Kegagalan serius yang mengakibatkan kerusakan parah dan kecelakaan fatal	Ini mengakibatkan kematian atau cedera serius, penghancuran sistem, kerugian finansial besar, atau kecelakaan fatal
9	Kegagalan Kritis	Kegagalan serius yang menyebabkan gangguan besar atau kerugian signifikan	Ini mengakibatkan cedera serius atau penyakit fatal atau kerugian besar pada aset atau sistem utama
8	Kegagalan Besar	Kegagalan yang mengakibatkan kerugian besar dalam operasi, produk, atau layanan	Ini mengakibatkan kerusakan besar pada sistem, gangguan operasional, dan kerugian besar tetapi tidak fatal
7	Kegagalan Serius	Kegagalan signifikan dalam kinerja dengan dampak operasional yang besar	Ini menyebabkan kerugian besar pada kinerja sistem dan memerlukan perbaikan segera tanpa ancaman keselamatan yang segera
6	Kegagalan Signifikan	Gangguan yang menyebabkan kerugian kinerja substansial atau kegagalan produk	Ini mengakibatkan sistem atau produk gagal berfungsi sesuai spesifikasi dan memerlukan tindakan segera untuk perbaikan
5	Kegagalan Sedang	Kegagalan menyebabkan kerugian kinerja yang dapat diterima tetapi dapat diperbaiki segera	Kinerja menurun atau berkurang, dan tindakan korektif diperlukan tetapi tidak mengakibatkan kerusakan serius
4	Kegagalan Kecil	Kegagalan kecil memiliki dampak yang relatif terbatas pada operasi atau fungsi sistem	Pengurangan kinerja produk atau kualitas tidak memiliki efek signifikan pada keseluruhan sistem
3	Kegagalan Tolerable	Gangguan kecil yang tidak mempengaruhi kinerja utama sistem	Masalah kecil yang dapat ditoleransi dengan sedikit atau tanpa dampak pada fungsi atau kinerja sistem
2	Kegagalan Sangat Kecil	Gangguan atau cacat yang hampir tidak terlihat dan tidak mempengaruhi operasi	Ini memiliki dampak kecil yang hampir tidak mempengaruhi kinerja, kualitas, atau keselamatan
1	Tidak Ada Dampak	Tidak ada dampak atau kerugian akibat kegagalan	Kegagalan tidak mempengaruhi sistem atau produk secara keseluruhan

Sumber: Sellappan & Palanikumar (2013)

Occurrence adalah ingkat kemungkinan terjadinya kegagalan tersebut disesuaikan berdasarkan frekuensi terjadinya kegagalan dan diperkirakan dengan nilai angka akumulatif. Terdapat skala 1-10 dengan angka 10 indikasi sering terjadinya risiko.

Tabel 2. Tabel Penilaian Occurence

Risk	Occurence	Frekuensi	Deskripsi
10	Sangat Sering	>1 kali per hari	Mode kegagalan hampir selalu terjadi, sangat sering, selama operasi
9	Sering	1 kali per hari	Mode kegagalan terjadi setiap hari, sering kali mempengaruhi pengoperasian mesin
8	Cukup Sering	1 kali per minggu	Mode kegagalan terjadi beberapa kali dalam seminggu
7	Cukup Tinggi	1 kali per bulan	Mode kegagalan terjadi sebulan sekali
6	Sedang	1 kali per 3 bulan	Mode kegagalan terjadi sekitar 1 kali dalam 3 bulan
5	Jarang	1 kali per tahun	Mode kegagalan terjadi setahun sekali
4	Sangat Jarang	1 kali setiap 1-3 tahun	Mode kegagalan terjadi setiap 1-3 tahun
3	Agak Jarang	1 kali setiap 3-5 tahun	Mode kegagalan sangat jarang terjadi
2	Jarang	1 kali setiap 5-10 tahun	Mode kegagalan sangat jarang terjadi
1	Sangat Jarang	1 kali setiap >10 tahun	Mode kegagalan jarang terjadi, lebih dari 10 tahun sekali

Sumber: Sellappan & Palanikumar (2013)

Detection adalah penilaian terhadap seberapa besar suatu kegagalan dapat terdeteksi sebelum terjadi. *Detection* dapat diartikan juga sebagai pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan kegagalan yang dapat terjadi.

Tabel 3. Tabel Penilaian *Detection*

Risk	Detection	Deskripsi
10	Sangat Tidak Terdeteksi	Kegagalan hampir tidak mungkin dideteksi sebelum menyebabkan kerusakan total
9	Sangat Sulit Dideteksi	Kegagalan sangat sulit dideteksi, terdeteksi apabila ada dampak yang signifikan
8	Sulit Dideteksi	Hanya dapat dilakukan pengendalian yang sangat ketat dan intensif
7	Kemungkinan Terbatas	Deteksi mungkin terjadi hanya dalam beberapa situasi setelah dampak terjadi
6	Deteksi Sedang	Hanya terjadi dengan kontrol atau prosedur tertentu
5	Terkadang Terdeteksi	Deteksi dapat terjadi dengan adanya pemeriksaan rutin
4	Cukup mudah	Inspeksi manual biasanya dapat mendeteksi terjadinya kegagalan
3	Mudah Dideteksi	Kegagalan sering kali dapat dideteksi dengan mudah baik oleh sistem
2	Sangat Dapat Dideteksi	Hampir semua dampak kegagalan dapat dideteksi sebelum dampak serius terjadi
1	Terdeteksi Kegagalan	Kegagalan terdeteksi melalui pemantauan

Sumber: Sellappan & Palanikumar (2013)

Metode ini membantu untuk memprioritaskan komponen dengan nilai RPN tertinggi agar segera dilakukan perbaikan. Selain untuk menurunkan risiko kegagalan, penerapan FMEA dapat mendukung efisiensi biaya perawatan sehingga mencegah *downtime* yang tidak terencana. (Munawir & Restiana, 2021; Daryanto, 2024)

Dengan demikian penerapan FMEA pada mesin derek di atas KM. VWX mampu memberikan dasar ilmiah untuk menentukan mode kegagalan paling kritis dan menunjukkan rekomendasi perawatan yang efektif secara teknis dan ekonomis kepada pemilik kapal.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan menerapkan metode *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA) untuk menganalisis kemungkinan kegagalan dan dampaknya terhadap performa mesin derek, yang merupakan alat bongkar muat di atas kapal KM. VWX. Pendekatan ini dipilih untuk memahami secara menyeluruh kondisi teknis dan ekonomis dari peralatan bongkar muat melalui

pengamatan langsung, wawancara dengan awak kapal, serta analisis dokumen teknis dan riwayat perawatan mesin derek. Data yang dikumpulkan diperoleh melalui tiga teknik utama yaitu observasi, wawancara, dan dokumentasi. Observasi dilakukan untuk mengamati kondisi mesin derek sistem hidrolik, motor penggerak, dan komponen pendukung lainnya selama proses bongkar muat. Wawancara dilakukan secara mendalam kepada tiga responden utama yaitu Nakhoda, Kepala Kamar Mesin, dan Operator Derek untuk menggali informasi mengenai pengalaman operasional, jenis kerusakan yang sering terjadi, dan pola perawatan yang digunakan.

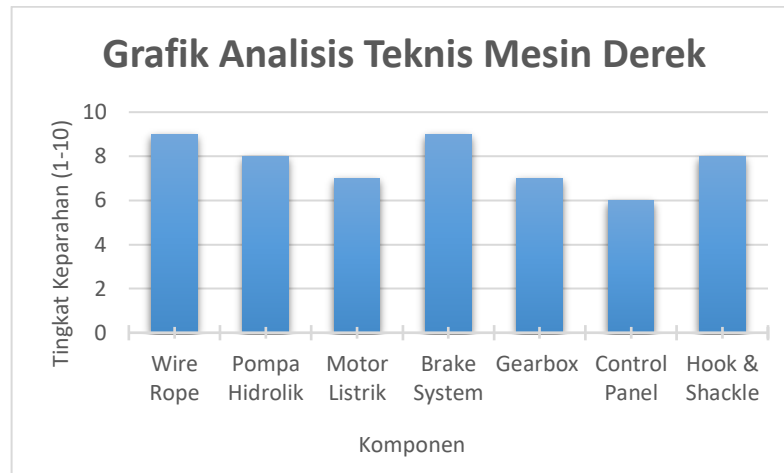
Dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan data sekunder berupa foto, catatan inspeksi, sertifikat peralatan, serta riwayat perbaikan mesin derek sebagai bahan untuk memverifikasi dan mendukung analisis. Analisis data dilakukan secara sistematis dengan metode FMEA yang terdiri dari beberapa tahapan.

Tahap pertama adalah mengidentifikasi sistem dan komponen mesin derek seperti sistem hidrolik, kawat sling, *hook*, *winch*, dan panel kontrol. Tahap kedua yaitu mengidentifikasi mode kegagalan potensial seperti kebocoran oli, overheat motor, atau putusnya kawat sling yang dapat mengganggu efisiensi bongkar muat. Selanjutnya dilakukan analisis penyebab dan dampak kegagalan untuk menilai pengaruhnya terhadap keselamatan kerja, efisiensi operasional, dan biaya perawatan. Setiap kegagalan dinilai berdasarkan tiga parameter utama yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) dengan skala penilaian 1 hingga 10. Nilai-nilai tersebut kemudian dikalikan untuk mendapatkan *Risk Priority Number* (RPN) dengan rumus $RPN = S \times O \times D$. Hasil perhitungan RPN digunakan untuk menentukan prioritas risiko dan mengidentifikasi komponen dengan tingkat kegagalan tertinggi yang memerlukan tindakan korektif segera. Rekomendasi yang diberikan meliputi perawatan preventif, penggantian komponen kritis, peningkatan sistem inspeksi, dan pelatihan operator untuk mengurangi kegagalan yang mungkin terulang. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi aspek teknik seperti kenadalan mesin, keceptan operasional, dan waktu henti (*downtime*) serta aspek ekonomis yang mencakup biaya perawatan, konsumsi energi, efisiensi operasional, *Return on Investment* (ROI), dan *Life Cycle Cost* (LCC).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapal VWX adalah kapal jenis *general cargo* yang dilengkapi dengan tiga unit mesin derek dengan kapasitas *Safe Working Load* (SWL) masing-masing 3 ton, tinggi angkat *boom* 10 meter, jangkauan 8 meter, dan kecepatan angkat rata-rata 60 detik. Sistem derek digerakkan oleh mesin diesel hidrolik yang terdiri atas komponen utama yaitu *boom*, *wire ropes*, pompa hidrolik, motor listrik, *brake system*, *gear box*, *control panel*, *hook and shackles*. Sebagai alat bongkar muat utama mesin derek beroperasi rata-rata 3 trip pelayaran perbulan dengan durasi kurang lebih 12 jam perhari. Tingginya jam operasi menyebabkan komponen mesin derek rawan aus apabila tidak dilakukan perawatan secara teratur. Observasi di lapangan dan wawancara dengan awak kapal mendorong perlunya analisis sistematis menggunakan metode FMEA.

Penilaian dampak kegagalan dilakukan berdasarkan analisis teknis di lapangan, karena setiap komponen derek memiliki fungsi berbeda dan tingkat risiko yang tidak sama pula. Menurut Sidik dkk (2022), hal yang sering menjadi penyebab terjadinya kerusakan dikarenakan perawatan yang kurang tepat sasaran dan juga dikarenakan belum adanya tindakan pencegahan dari kerusakan yang terjadi dan terus berulang. *Wire ropes* dengan pengoperasian mendekati atau melebihi SWL menyebabkan deformasi, keausan. Kurangnya pelumasan juga mempercepat korosi dan meningkatkan gesekan internal. Pompa hidrolik menunjukkan risiko penurunan tekanan yang menyebabkan *boom* dan *winch* bergerak tidak stabil sehingga berdampak pada proses bongkar muat hingga risiko muatan terjatuh penyebabnya berasal dari kebocoran selang, keausan piston, dan kontaminasi oli. Motor listrik dapat mengalami penurunan performa akibat beban berlebih atau kurangnya perawatan, kendala seperti *short circuit* atau kenaikan arus listrik dari batas normal dapat terjadi dan jika tidak diatasi motor listrik dapat berhenti dan menimbulkan *downtime*. Keausan pada *brake system* menyebabkan beban turun secara tiba-tiba hingga menyebabkan kecelakaan kerja dan muatan rusak sehingga memerlukan inspeksi rutin. *Gearbox*, kerusakan yang terjadi pada *bearing*, pelumasan, dan getaran berlebih menyebabkan putaran menjadi tidak stabil, menimbulkan suara bising, dan penurunan efisiensi daya angkat. *Control panel* yang mengalami kerusakan pada terminal menyebabkan respon perintah operator tidak tepat sehingga memperlambat proses bongkar muat dan menimbulkan risiko muatan turun tidak pada tempatnya. *Hook* dan *shackles* dapat kehilangan kekuatan akibat korosi, keausan pada ulir, dan deformasi berlebih yang diakibatkan beban muatan berlebih, kegagalan pada sistem ini dapat menimbulkan potensi muatan terjatuh hingga terjadi kecelakaan kerja.



Gambar 2. Grafik Analisis Teknis

Sumber: Identifikasi Penulis

Penilaian dampak finansial yang timbul akibat dari potensi kegagalan mesin derek dilakukan dengan analisis ekonomis. Dampak tersebut meliputi biaya perbaikan suku cadang, biaya *demurrage* akibat perpanjangan waktu sandar di dermaga, biaya *stevedoring* tambahan, kerugian akibat kerusakan muatan, serta konsumsi bahan bakar karena penggunaan mesin derek dalam jangka waktu yang lama. Kapal VWX mengalami kegagalan pada mesin derek hingga mengakibatkan *extra delay* selama 3 hari dimana waktu normal kegiatan adalah 4 hari dengan tarif *demurrage* yaitu Rp 15.000.000/ hari, *stevedoring* yaitu Rp 2.000.000/ hari, dan tambahan operasional yaitu Rp 500.000/ hari, sehingga diperoleh total biaya keterlambatan yaitu Rp 45.000.000 untuk *demurrage*, Rp 6000.000 untuk *stevedoring*, dan Rp 1.500.000 untuk tambahan bahan bakar. Selain itu, terdapat biaya perbaikan setiap komponen mesin derek seperti *wire ropes* Rp 5.500.000 per roll, komponen pompa hidrolik dan motor listrik Rp 10.000.000, *gear box* Rp 14.000.000, *brake system* Rp 5.000.000, *control panel* Rp 3.000.000, dan *hook & shackles* Rp 2.500.000. Nilai kerusakan muatan dihitung dari total muatan dan harga semen yaitu Rp 1.200.000 per ton sehingga kerugian total yang didapat yaitu Rp 555.000.000.

Tabel 4. Perhitungan Kerugian Ekonomis Pembongkaran Muatan

No	Komponen	Biaya Perbaikan	Potensi Kerusakan Muatan (% x jml. muatan x harga semen)	Total Kerugian (demurrage + stevedore + BBM + biaya perbaikan + kerusakan muatan)
1.	Wire Ropes	Rp 5.500.000	1,0% x 2.800 ton x Rp 1.200.000/ ton = Rp 33.600.000	Rp 91.600.000
2.	Pompa Hidrolik	Rp 10.000.000	0,2% x 2.800 ton x Rp 1.200.000/ ton = Rp 6.720.000	Rp 69.220.000
3.	Motor Listrik	Rp 10.000.000	0,3% x 2.800 ton x Rp 1.200.000/ton = Rp 10.080.000	Rp 72.580.000
4.	Brake System	Rp 5.000.000	0,8% x 2.800 ton x Rp 1.200.000/ton = Rp 26.880.000	Rp 84.380.000
5.	Gearbox	Rp 14.000.000	0,4% x 2.800 ton x Rp 1.200.000/ton = Rp 13.440.000	Rp 79.940.000
6.	Control Panel	Rp 3.000.000	0,2% x 2.800 ton x Rp 1.200.000/ ton = Rp 6.720.000	Rp 62.220.000
7.	Hook & Shackles	Rp 2.500.000	1,2% x 2.800 ton x Rp 1.200.000/ ton = Rp 40.320.000	Rp 95.320.000
Total Kerugian				Rp 555.260.000

Selanjutnya adalah menentukan tingkat keparahan pada masing-masing komponen.

Untuk menentukan nilai *severity* dicantumkan jenis komponen, *potential failure mode*, dan *potential failure effect* seperti pada Tabel 4. berikut ini :

Tabel 5. Penilaian Severity

Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	S
Wire Ropes	Tali baja putus saat mengangkat muatan	Muatan rusak, terjatuh, dan risiko kecelakaan kerja	9
Pompa Hidrolik	Tekanan hidrolik turun	Boom derek tidak dapat mengangkat beban maksimal	8
Motor Listrik	Overheating dan short circuit	Risiko kerusakan motor listrik dan downtime	8
Brake System	Pengereman tidak berfungsi	Muatan rusak, terjatuh, risiko kerusakan alat, dan risiko kecelakaan kerja	9
Gearbox	Gigi aus atau patah	Gerakan derek tidak maksimal dan menimbulkan suara berisik	7
Control Panel	Gangguan sistem control derek	Kinerja derek lambat terhadap perintah operator	7
Hook dan Shackles	Deformasi akibat beban berlebih	Muatan tidak aman, potensi muatan terjatuh	8

Penentuan nilai *occurrence* diidentifikasi berdasarkan seberapa sering suatu kegagalan dapat terjadi dengan memperhatikan penyebab kegagalan potensial dari *failure*

mode setiap komponen. *Rating* 1 untuk frekuensi paling rendah dan *rating* 10 untuk frekuensi paling sering terjadi. Perhitungan *occurrence* seperti pada tabel 6. berikut:

Tabel 6. Penilaian Occurrence

Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Causes	Frekuensi	O
Wire Ropes	Tali baja putus saat mengangkat muatan	Keausan/ korosi akibat air laut, dan kurang pelumasan	1 kali per 1-3 tahun	4
Pompa Hidrolik	Tekanan hidrolik turun	Oli kotor, kebocoran pada <i>seal</i> , perawatan kurang	1 kali per tahun	5
Motor Listrik	<i>Overheating</i> dan <i>short circuit</i>	Pendingin tidak optimal, ventilasi tertutup, dan beban berlebih	1 kali per 1-3 tahun	4
Brake System	Pengereman tidak berfungsi	Keausan dan sistem hidrolik bocor	1 kali per 3-5 tahun	3
Gearbox	Gigi aus atau patah	Beban berlebih, kurang pelumasan, usia pakai yang sudah terlalu lama	1 kali per 1-3 tahun	4
Control Panel	Gangguan sistem control derek	Kelembapan tinggi, keausan pada kabel, sambungan putus	1 kali per 5-10 tahun	2
Hook dan Shackles	Deformasi akibat beban berlebih	Usia pakai yang terlalu lama, kualitas material, beban berlebih	1 kali per 3-5 tahun	3

Detection digunakan untuk mendeteksi kemungkinan kegagalan dapat terdeteksi sebelum menimbulkan kerusakan lebih besar. Sama seperti penentuan *severity* dan *occurrence*, berikut Tabel 7. penilaian *detection*:

Tabel 7. Penilaian Detection

Komponen	Potential Failure Mode	Possible Detection	D
Wire Ropes	Tali baja putus saat mengangkat muatan	Inspeksi manual biasanya dapat mendeteksi terjadinya kegagalan	4
Pompa Hidrolik	Tekanan hidrolik turun	Dapat dideteksi dengan adanya pemeriksaan rutin	5
Motor Listrik	<i>Overheating</i> dan <i>short circuit</i>	Dapat dideteksi dengan adanya pemeriksaan rutin	5
Brake System	Pengereman tidak berfungsi	Inspeksi manual biasanya dapat mendeteksi terjadinya kegagalan	4
Gearbox	Gigi aus atau patah	Inspeksi manual biasanya dapat mendeteksi terjadinya kegagalan	4
Control Panel	Gangguan sistem control derek	Kegagalan dapat dideteksi dengan mudah oleh inspeksi	3
Hook dan Shackles	Deformasi akibat beban berlebih	Dampak kegagalan dapat dideteksi sebelum dampak serius	2

Kemudian untuk menghitung nilai RPN dilakukan dengan cara mengalikan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* yang terdapat pada tabel 5, 6, dan 7. Sehingga diperoleh nilai *risk priority number* (RPN) pada setiap komponen seperti pada Tabel 8 berikut ini:

Tabel 8. Penilaian Risk Priority Number (RPN)

Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Causes	Potential Failure Effect	S	O	D	RPN
Wire Ropes	Tali baja putus saat mengangkat muatan	Keausan/ korosi akibat air laut, dan kurang pelumasan	Muatan rusak, terjatuh, dan risiko kecelakaan kerja	9	4	4	144
Pompa Hidrolik	Tekanan hidrolik turun	Oli kotor, kebocoran pada <i>seal</i> , perawatan kurang	<i>Boom</i> derek tidak dapat mengangkat beban maksimal	8	5	5	200
Motor Listrik	<i>Overheating</i> dan <i>short circuit</i>	Pendingin tidak optimal, ventilasi tertutup, dan beban berlebih	Risiko kerusakan motor listrik dan <i>downtime</i>	8	4	5	160
Brake System	Pengereman tidak berfungsi	Keausan dan sistem hidrolik bocor	Muatan rusak, terjatuh, risiko kerusakan alat, dan risiko kecelakaan kerja	9	3	4	108
Gearbox	Gigi aus atau patah	Beban berlebih, kurang pelumasan, usia pakai yang sudah terlalu lama	Gerakan derek tidak maksimal dan menimbulkan suara berisik	7	4	4	112
Control Panel	Gangguan sistem control derek	Kelembapan tinggi, keausan pada kabel, sambungan putus	Kinerja derek lambat terhadap perintah operator	7	2	3	42
Hook dan Shackles	Deformasi akibat beban berlebih	Usia pakai, kualitas material, beban berlebih	Muatan tidak aman, potensi muatan terjatuh	8	3	2	48

Hasil perhitungan RPN selanjutnya diurutkan berdasarkan nilai tertinggi ke nilai terendah yang bertujuan untuk menentukan urutan prioritas perbaikan komponen. Nilai RPN berkaitan dengan analisis teknis dan ekonomis sehingga dapat menentukan penanganan dan pencegahan sebelum terjadi kegagalan.

Tabel 9. Ranking RPN Beserta Analisis Teknis dan Ekonomis

<i>Rank</i>	<i>Komponen</i>	<i>Potential Failure Mode</i>	<i>Analisis Teknis</i>	<i>Analisis Ekonomis</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>D</i>	<i>RPN</i>	<i>Total Kerugian</i>
1	Pompa Hidrolik	Tekanan hidrolik turun	Tekanan rendah menyebabkan sistem tidak stabil dan memperlambat siklus angkat	Menambah konsumsi bahan bakar serta meningkatkan waktu sandar	8	5	5	200	Rp 69.220.000,-
2	Motor Listrik	<i>Overheating</i> dan <i>short circuit</i>	Kinerja motor menurun dan menimbulkan risiko <i>short circuit</i>	Biaya perbaikan tinggi, dan menyebabkan keterlambatan bongkar muat	8	4	5	160	Rp 72.580.000,-
3	<i>Wire Ropes</i>	Tali baja putus saat mengangkat muatan	Beban melebihi SWL dapat mempercepat keausan kawat, pelumasan yang tidak rutin menurunkan usia kawat	Kerugian tinggi apabila muatan rusak, <i>downtime</i> meningkat sehingga biaya pelabuhan bertambah	9	4	4	144	Rp 91.600.000,-
4	<i>Gearbox</i>	Gigi aus atau patah	Ketidakseimbangan putaran menyebabkan torsi tidak stabil	Biaya suku cadang tinggi jika kerusakan semakin parah	7	4	4	112	Rp 79.940.000,-
5	<i>Brake System</i>	Pengerman tidak berfungsi	Menurunkan tingkat keselamatan operasi	Potensi kerusakan muatan	9	3	4	108	Rp 84.380.000,-
6	<i>Hook dan Shackles</i>	Deformasi akibat beban berlebih	Kekuatan tarik dan angkat berkurang	Risiko kerugian tinggi apabila muatan jatuh	8	3	2	48	Rp 95.320.000,-
7	<i>Control Panel</i>	Gangguan sistem control derek	Menyebabkan keterlambatan dan potensi kesalahan menurunkan muatan	Waktu operasi bertambah, biaya bahan bakar meningkat	7	2	3	42	Rp 62.220.000,-

Dari tabel di atas diketahui nilai RPN tertinggi yaitu komponen pompa hidrolik yang mengalami penurunan tekanan dengan nilai RPN 200 dan kerugian finansial sebesar

Rp 69.220.000, sedangkan pada *ranking* 2 yaitu komponen motor listrik dengan nilai RPN 160 dan kerugian finansial sebesar Rp 72.580.000. Pada *ranking* 3 yaitu *wire ropes* dengan RPN 144 dan kerugian sebesar Rp 91.600.000. *Ranking* 4 yaitu *gearbox* dengan nilai RPN 112 dan kerugian senilai Rp 79.940.000. Pada *ranking* 5 adalah *brake system* dengan RPN 108 beserta kerugian Rp 84.380.000, untuk *hook* dan *shackles* berada di *ranking* 5 dengan RPN 48 I dan kerugian sebesar Rp 95.320.000. Untuk nilai RPN paling rendah 42 yaitu komponen *control panel* dengan ekrugian sebesar Rp 62.220.000.

Untuk mencegah kegagalan dan kerugian tersebut terjadi, dapat dilakukan dengan membuat jadwal perawatan dan penggantian komponen secara berkala. (Sukania dan Wijaya, 2022)

Berdasarkan analisis tersebut dapat ditentukan rekomendasi perbaikan komponen diantaranya:

- a. Pada komponen pompa hidrolik dapat dilakukan penggantian oli setiap 500 – 1000 jam kerja dan pemeriksaan seal secara berkala.
- b. Pada komponen motor listrik dapat dilakukan pemebersihan sistem ventilasi secara berkala dan penggunaan *thermal protector sensor*.
- c. Pada komponen *wire ropes* dapat dilakukan pelumasan rutin pada *wire* setiap 1 minggu tergantung dari intensitas pemakaian mesin derek, penggantian *wire* setiap 6 bulan atau sesuai kondisi pengecekan visual sebelum kegiatan.
- d. Pada komponen *gearbox* dapat dilakukan pemeriksaan viskositas oli dan dilakukan pelumasan rutin setiap 500 jam kerja.
- e. Pada komponen *brake system* dapat dilakukan penggantian *brake lining* setiap 6 bulan dan rutin dilakukan uji tekanan.
- f. Pada komponen *hook* dan *shackles* dapat dilakukan inspeksi setiap 3 bulan sekali dan dilakukan penggantian jika mengalami deformasi lebih dari 5%.
- g. Pada komponen *control panel* dapat dilakukan perawatan harian yang lebih rutin dan penggantian panel setiap 2 tahun sekali atau saat kapal *dock*.

Selain itu, upaya yang dilakukan agar kegiatan bongkar muat berjalan dengan optimal yaitu perawatan dan pemeriksaan secara berkala, pelumasan *grease* pada *wire* sesuai jadwal, dan melakukan kegiatan *safety meeting* sebelum kegiatan bongkar muat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis teknis dan ekonomis kinerja mesin derek sebagai alat bongkar muat di atas kapal VWX menggunakan metode FMEA menunjukkan bahwa meski telah dilakukan perawatan maksimal pada komponen mesin derek, namun dalam impelementasinya masih terdapat mod ekegagalan seperti penurunan tekanan pada pompa hidrolik, terjadinya *short circuit* pada motor listrik, komponen *wire ropes* yang putus, *gearbox* yang mengalami patah pada roda gigi, pengereman yang tidak berfungsi pada *brake system*, deformasi pada *hook* dan *shackles*, dan gangguan pada *control panel*. Seluruh kegagalan tersebut terjadi karena adanya beban muatan yang berlebih, kurangnya perawatan, kebocoran pada *seal*, kurangnya pelumasan, usia pakai, hingga kualitas material. Sehingga menimbulkan dampak risiko kecelakaan kerja, muatan rusak, *downtime*, keterlambatan proses bongkar muat, penambahan biaya operasional, *demurrage*, penambahan biaya bahan bakar dan kerusakan ganti rugi muatan. Hasil analisis FMEA menunjukkan terdapat dua mode kegagalan dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi yaitu kegagalan pada komponen pompa hidrolik (RPN 200) dengan kerugian Rp 69.220.000 dan kegagalan pada komponen motor listrik (RPN 160) dengan kerugian finansial Rp 72.580.000. Untuk menghindari dan menangani kegagalan fungsi mesin derek dimasa mendatang dapat dilakukan perawatan dan inspeksi secara berkala pada komponen mesin derek agar kegiatan bongkar muat tidak terganggu, untuk awak kapal agar melakukan pengecekan komponen terlebih dahulu sebelum kegiatan bongkar muat dimulai dan perusahaan pemilik kapal dapat menjaga kompetensi operator dan awak kapal dalam menjalankan SOP kegiatan bongkar muat untuk menghindari risiko kerugian finansial.

DAFTAR REFERENSI

- Asbullah. G. D., & Suparman. (2024). *Analisis Keterlambatan dan Efisiensi Kegiatan Bongkar Muat Petikemas di Terminal PT. Prima Terminal Petikemas Belawan*. Journal of Social Science Research, 4(1), 10156-10166.
- Daryanto & Basuki, M. (2023). [Mitigasi Risiko Kegagalan Fungsi Peralatan Mesin Fresh Water Generator Dengan Pendekatan Failure Mode And Effect Analysis \(FMEA\) di Kapal Niaga XYZ](#), Jurnal Sains Dan Teknologi Maritim, Vol 24, Issue 1, pp 1-10.
- Daryanto. (2024). "Application of the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Method in Shipping Industry." *Journal Ocean Science and Technology Innovation*, 5(3), 2747-2124.
- Ferdianto. (2024). *Analisa Kegagalan Kritis Sistem Permesinan Winch Sekoci pada Kapal Ferry dengan Metode FMEA*.Gowa: Fakultas Teknik Universitas Hasanudin.

- Hidayat, R. J. (2024). *Analisis Bongkar Muat Container menggunakan Derek Kapal di MV. Star Wisdom*. Semarang: PIP Semarang.
- Munawir H., & Restiana M. U., (2021). *Analisa Risiko Kegagalan Terhadap Downtime Pada Line Crank case Menggunakan Metode Failure Mode Effect Analysis*. Jurnal Teknik Industri, 3(2), 78-89.
- Penangsang, Y & Basuki, M. (2024). *Mitigasi Risiko Operasional Pembangunan Kapal Baru di Galangan Kapal Surabaya Menggunakan Metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) dan BTA (Bowtie Analysis)*. Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan, Vol 4
- Putra, S.P. (2023). *Analisis Kegagalan Operasional Hydraulic Cranedi MV. RasunaBaruna pada Saat Kegiatan Bongkar Muat di Pelabuhan Paiton*. Semarang: PIP Semarang
- Salam, M.I. (2024). *Dampak Kerusakan Crane Terhadap Kegiatan Bongkar Muat Batu Bara pada MV.Almeria di Tanjung Kampeh Anchorage Palembang*. Palembang: Politeknik Pelayaran Sumatera Barat.
- Sellappan, N. and Palanikumar, K. (2013). *Modified Prioritization Methodology for Risk Priority Number in Failure Mode and Effects Analysis*. International Journal of Applied Science and Technology, 3, 27-36.
- Sidik, J, Andalia, W. & Tamalika, T. (2022). *Perawatan Mesin Press Hidrolik Dengan Menggunakan Metode FMEA*. Jurnal UNG, 2(2).
- Sugiantara, K. & Basuki, M. (2019). [*Identifikasi dan Mitigasi Risiko di Offshore Operation Facilities dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis*](#). Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya. Vol 5, issue 2, pp 87-92.
- Sukania, W. & Wijaya. C. (2022). *Analisis Sistem Perawatan Mesin Produksi Menggunakan Metode FMEA di PT. X*. Jurnal energy dan Manufaktur, 15(2), 103-111.
- Sulistyarini. (2018). *Analisis Risiko Kegagalan Proses Menggunakan Fuzzy-AHP Failure Mode and Effect Analysis dan Kaizen Method*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.