

PENERAPAN METODE FMEA PADA PERAWATAN SISTEM
MEKANIK KAPAL ISAP PRODUKSI TIMAHJumanda Ahmad Al Fatah^{1*}, M.Riva'i¹¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*Corresponding Author: mandarealme@gmail.com

ABSTRAK

Kegiatan penambangan timah lepas pantai oleh PT Timah Tbk sangat bergantung pada keandalan operasional Kapal Isap Produksi (KIP). Namun, kondisi lingkungan laut yang korosif dan beban kerja yang tinggi menyebabkan sistem mekanik KIP rentan mengalami kerusakan yang memicu tingginya waktu henti operasi (downtime). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis dan penyebab kerusakan sistem mekanik pada KIP Timah 07, menentukan tingkat risiko komponen menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), serta menyusun rekomendasi perawatan preventif yang tepat. Data penelitian bersumber dari rekapitulasi logbook jam stop selama 17 bulan (Januari 2025 – Mei 2026). Hasil analisis menunjukkan bahwa gangguan sistem mekanik menyumbang 36,97% (3.182,0 jam) dari total keseluruhan downtime kapal. Tiga sistem dengan kontribusi downtime mekanik terbesar adalah GDO cutter dan Gearbox (33,03%), Gearbox HCL (26,76%), serta kopling GDO Cutter (13,81%). Berdasarkan perhitungan Risk Priority Number (RPN), diperoleh tiga failure mode dengan prioritas penanganan tertinggi, yaitu: gangguan motor/penggerak GDO cutter (RPN = 336), Gearbox HCL Pompa Tanah (RPN = 210), dan Kopling GDO Cutter (RPN = 200). Rekomendasi yang diusulkan meliputi penerapan program preventive maintenance terjadwal pada GDO cutter, inspeksi Non-Destructive Testing (NDT) berkala pada as joint, serta pemantauan getaran (vibration monitoring) pada bantalan pompa tanah.

Kata Kunci: FMEA, Kapal Isap Produksi (KIP) Timah, Risk Priority Number (RPN)

ABSTRACT

Offshore tin mining operations by PT Timah Tbk rely heavily on the operation of Tin Suction Dredgers (KIP). However, the corrosive marine environment and high workloads make the KIP's mechanical systems prone to failures, resulting in significant operational downtime. This study aims to identify the types and causes of mechanical system failures on the KIP Timah 07 vessel, determine component risk levels using the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method, and formulate appropriate preventive maintenance recommendations. Research data was derived from downtime logbook records spanning 17 months. Analysis results indicate that mechanical system malfunctions accounted for 36.97% (3,182.0 hours) of the vessel's total downtime. The three systems contributing the most to mechanical downtime were the GDO cutter and gearbox (33.03%), the HCL gearbox (26.76%), and the GDO cutter coupling (13.81%). Based on Risk Priority Number (RPN) calculations, three failure modes were identified as having the highest priority for intervention: GDO cutter motor/drive failure (RPN = 336), soil pump joint breakage/failure (RPN = 288),

and soil pump bearing issues (RPN = 245). Proposed recommendations include implementing a scheduled preventive maintenance program for the GDO cutter, conducting periodic Non-Destructive Testing inspections on joints, and performing vibration monitoring on soil pump bearings.

Keywords: FMEA, Cutter Suction Dredger (KIP), Risk Priority Number (RPN)

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu produsen timah terbesar kedua di dunia. Kegiatan eksplorasi dan eksploitasi timah di Indonesia dilakukan terutama oleh PT Timah Tbk, yang memusatkan operasinya terbesar nasional (Achmad Widodo, 2024). Penambangan timah yang dilakukan tidak hanya mencakup wilayah darat, tetapi juga kawasan lepas pantai yang membutuhkan teknologi dan armada khusus untuk pengoperasiannya (Department of Defense, 1980).

Dalam proses penambangan timah di lepas pantai, Kapal Isap Produksi (KIP) menjadi alat utama yang tidak tergantikan. KIP berfungsi menghisap material dari dasar laut, memisahkan bijih timah dari pasir dan lumpur, serta menampungnya untuk kemudian diangkut ke darat. Efektivitas dan keandalan KIP dalam beroperasi secara terus-menerus menjadi faktor penentu dalam menjaga target produksi dan efisiensi operasional perusahaan secara keseluruhan.

Jenis kerusakan yang sering terjadi pada sistem mekanik KIP antara lain meliputi keausan komponen bergerak seperti bantalan (bearing), roda gigi (*gear*), dan kopling; kegagalan pada sistem transmisi daya; kerusakan pada poros dan propeler; serta keausan pada komponen cutter dan winch akibat beban operasi yang berulang (J. A. Saputra, 2025). Setiap kerusakan yang terjadi tidak hanya mengurangi efisiensi kerja alat, tetapi juga dapat menyebabkan penghentian operasi (downtime) yang berkepanjangan, meningkatkan biaya perbaikan, dan mengganggu target produksi yang telah direncanakan. Permasalahan mendasar yang kerap dijumpai di lapangan adalah bahwa strategi pemeliharaan sistem mekanik KIP masih bersifat reaktif, yaitu perbaikan baru dilakukan setelah kerusakan terjadi (*breakdown maintenance*). Pendekatan ini sangat tidak efisien karena selain tidak mampu mencegah kegagalan lebih awal, juga seringkali mengakibatkan kerusakan sekunder yang lebih parah akibat terlambatnya penanganan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan perawatan yang lebih proaktif, sistematis, dan berbasis analisis risiko (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023). Perkalian ketiga parameter ini menghasilkan nilai Risk Priority Number (RPN) yang menjadi dasar penetapan prioritas penanganan.

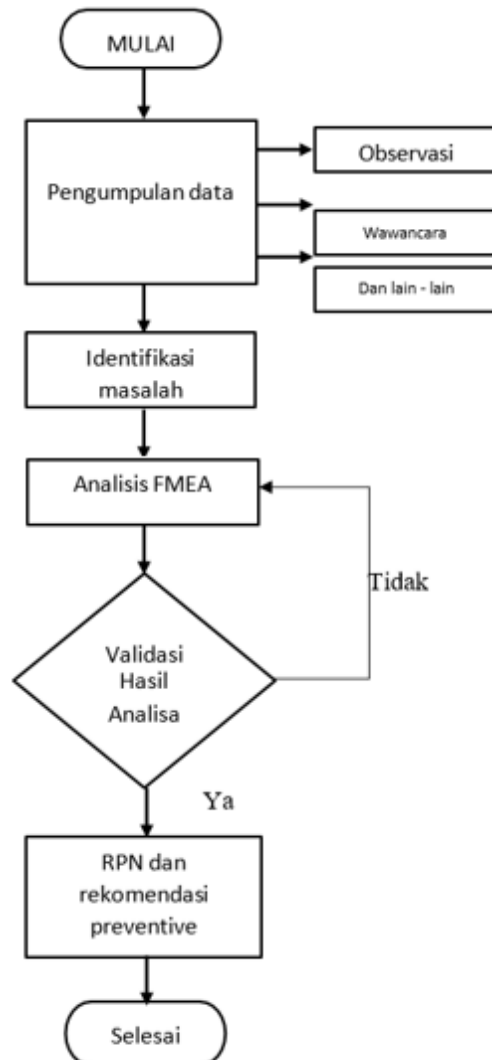
Dengan menerapkan metode FMEA pada sistem mekanik KIP, diharapkan dapat diperoleh peta risiko kegagalan yang komprehensif serta rekomendasi tindakan perawatan preventif yang tepat sasaran. Hasil analisis ini diharapkan mampu meningkatkan keandalan sistem mekanik, mengurangi frekuensi kerusakan, memperpanjang umur pakai komponen, serta meminimalkan kerugian akibat downtime. Atas dasar itulah penelitian ini mengangkat judul “Penerapan Metode FMEA dalam Perawatan Sistem Mekanik Kapal Isap Produksi”. FMEA pertama kali dikembangkan oleh militer Amerika Serikat pada tahun 1949 melalui dokumen *Military Procedure MIL-P-1629* yang berjudul '*Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*'. Metode ini kemudian berkembang dan diadopsi secara luas oleh industri otomotif, penerbangan, nuklir,

dan berbagai sektor industri lainnya (N. Dinda Amalia Safitr, 2025)

Secara umum penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pendekatan berbasis FMEA tidak hanya efektif dalam mengidentifikasi dan memprioritaskan risiko, tetapi juga memberikan manfaat nyata dalam peningkatan keandalan sistem, pengurangan biaya perawatan tidak terencana, dan peningkatan keselamatan operasional secara keseluruhan. Kerangka teoritis inilah yang menjadi pijakan dalam pelaksanaan penelitian penerapan FMEA pada sistem mekanik Kapal Isap Produksi timah (Wibowo, A., & Kurniawan, T, 2020).

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode analisis risiko Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Rancangan penelitian bersifat studi kasus yang dilakukan pada sistem mekanik kapal isap produksi di lokasi tambang timah PT Timah Tbk.



Gambar 1. Rancangan Penelitian

Metode Analisis Risiko Utama: FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) Metode inti yang digunakan adalah FMEA. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis potensi kegagalan pada sistem mekanik Kapal Isap Produksi (KIP) Timah secara sistematis sebelum kegagalan tersebut terjadi. Dalam pelaksanaannya, FMEA mengukur tingkat risiko melalui tiga parameter skala 1–10 pada Tabel 1-3.

Tabel 1. Pengukuran Tingkat Risiko Kategori Severity

Nilai	Kategori Severity	Kriteria
1	Tidak Terasa (None)	Tidak ada efek yang dapat dideteksi
2-3	Ringan (Minor)	Gangguan kecil pada sistem;mudh diatasi tanpa menghentikan operasi
4-6	Sedang (Moderate)	Penurunan peforma yang signifikan, memerlukan perbaikan segera
7-8	Tinggi (High)	Gangguan besar yang menyebabkan sistem berhenti beroperasi
9-10	Sangat tinggi (Catastrophic)	Kegagalan total dengan resiko keselamatan jiwa

Tabel 2. Pengukuran Tingkat Risiko Kategori Occurrence

Nilai	Kategori Occurrence	Frekuensi Kejadian
1	Hampir tidak pernah	Kegagalan hampir tidak pernah terjadi (<1 per 10 tahun)
2-3	Jarang	Kegagalan terjadi sesekali (1 per 3-12 bulan)
4-6	Jarang	Kegagalan jarang terjadi sesekali (1 per 3-12 bulan)
7-8	Sering	Kegagalan sering terjadi (1 per minggu hingga bulan)
9-10	Sangat sering	Kegagalan hampir selalu terjadi (harian)

Tabel 2. Pengukuran Tingkat Risiko Kategori Detection

Nilai	Kategori Detection	Kemampuan Deteksi
1-2	Hampir pasti terdeteksi	Kontrol sangat efektif,kegagalan passti dapat dideteksi sebelum terjadi
3-4	Kemungkinan tinggi	Kemungkinan besar dapat dideteksi melalui inpeksi rutin
5-6	Sedang	Kemungkinan sedang untuk dideteksi, memerlukan alat diagnosis
7-8	Rendah	Deteksi sulit ilakukan; kegagalan biasanya baru diketahui setelah terjadi
9-10	Hampir terdeteksi	Tidak ada mekanisme deteksi yang tersedia

- **Severity (S):** Tingkat keparahan dampak kerusakan terhadap operasional kapal.
- **Occurrence (O):** Tingkat keseringan atau frekuensi terjadinya kerusakan berdasarkan data historis.
- **Detection (D):** Kemampuan kontrol atau inspeksi kru di lapangan untuk mendeteksi tanda awal kerusakan.

Ketiga parameter ini dikalikan ($RPN = S \times O \times D$) untuk menghasilkan nilai Risk Priority Number (RPN) guna menetapkan prioritas komponen mana yang

paling kritis dan mendesak untuk ditangani.

2. Pendekatan Penelitian: *Mixed Method* (Kuantitatif-Kualitatif)

Penelitian ini dirancang sebagai penelitian deskriptif-analitis dengan metode Studi Kasus (*Case Study*) pada armada KIP Timah 07. Jenis data yang diolah menggabungkan dua aspek:

- Aspek Kuantitatif: Terlihat dari rekapitulasi data *downtime* (jam stop operasi) selama 17 bulan serta perhitungan matematis nilai numerik S, O, D, dan RPN.
- Aspek Kualitatif: Terlihat dari proses identifikasi jenis mode kegagalan (*failure mode*), analisis akar penyebab masalah (*root cause*), dampak kerusakan, serta perumusan rekomendasi perbaikan melalui observasi dan wawancara mendalam dengan para praktisi/teknisi kapal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan FMEA dan *Risk Priority Number* (RPN). Dari jenis *failure mode* (mode kegagalan) yang teridentifikasi, dipilih 6 jenis kegagalan dengan kontribusi *downtime* tertinggi untuk dinilai berdasarkan parameter *Occurrence* (O), *Severity* (S), dan *Detection* (D) pada Tabel 4.

Tabel 4. Kegagalan dengan Kontribusi *Downtime* Tertinggi

Komponen	Mode Kegagalan	S	O	D
GDO Cutter	Keausan/pecah mata pisau cutter	8	7	6
Gearbox HCL Pompa Tanah	Kebocoran oli/keausan roda gigi	7	5	6
Kopling GDO Cutter	Slip/keausan permukaan kopling	8	5	5
Gearbox HCL	Overheating/keausan bearing	6	6	5
Gearbox Zetta	Keausan roda gigi transmisi	7	4	6
Pompa Pendingin Gearbox Paramax	Penurunan debit aliran pendingin	6	3	5

Berdasarkan matriks FMEA, ditemukan 5 mode kegagalan kritis dengan nilai RPN tertinggi yang menjadi prioritas utama penanganan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Prioritas Utama Penanganan

Komponen	RPN	Resiko
GDO Cutter	336	Kritis
Gearbox HCL Pompa Tanah	210	Kritis
Kopling GDO Cutter	200	Tinggi
Gearbox HCL	180	Tinggi
Gearbox Zetta	168	Tinggi
Pompa Pendingin Gearbox Paramax	90	Sedang

1. Gangguan GDO Cutter (RPN = 336): Menempati peringkat pertama. Mengalami 20 kali kejadian dengan total *downtime* terlama, yaitu 394 jam (rata-rata 19,7 jam/kejadian). Dampaknya fatal menghentikan total operasi galian dan sulit dideteksi dini secara visual
2. Gearbox HCL Pompa Tanah (RPN = 210): Menempati peringkat kedua. Kegagalan ini memiliki frekuensi tertinggi, yaitu mencapai 35 kejadian. Sifat haus

akibat kelelahan material (*fatigue*) dan terkontaminasi air laut.

3. Kopling GDO Cutter (RPN = 200): Terjadi sebanyak 16 kali. Memiliki rata-rata waktu perbaikan yang lama (14,03 jam per kejadian) karena membutuhkan pembongkaran .

4. Gearbox HCL (RPN = 180): Terjadi 15 kali dengan durasi perbaikan yang berdampak tinggi pada sistem *cutter* (rata-rata 18,07 jam per kejadian).

5. Gearbox Zetta (RPN = 168): Kegagalan yang sering berulang (*recurring*) sebanyak 24 kali kejadian selama periode pengamatan.

4. KESIMPULAN

Simpulan penerapan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) pada sistem mekanik Kapal Isap Produksi (KIP) Timah 07 yaitu : 1. Penyebab kerusakan pada komponen-komponen tersebut secara umum berkaitan dengan kondisi lingkungan laut yang korosif, beban kerja tinggi yang berlangsung secara terus-menerus, serta keterbatasan pada aspek pelumasan dan pendinginan. Dampak yang ditimbulkan berupa penurunan performa hingga penghentian operasi (*downtime*) yang mengganggu pencapaian target produksi. 2. Berdasarkan hasil perhitungan *Risk Priority Number* (RPN), komponen dengan tingkat risiko tertinggi adalah GDO Cutter dengan nilai RPN 336 dan Gearbox HCL Pompa Tanah dengan nilai RPN 210, yang keduanya berada pada kategori risiko kritis. Empat komponen lainnya, yaitu Kopling GDO Cutter (RPN 200), Gearbox HCL (RPN 180), dan Gearbox Zetta (RPN 168) berada pada kategori risiko tinggi, sedangkan Pompa Pendingin Gearbox Paramax (RPN 90) berada pada kategori risiko sedang.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Indra Feriadi, S.S.T., M.T selaku pembimbing 1 dan Bapak M. Riva'I, S.S.T., M.T., selaku pembimbing 2 atas dukungannya sehingga penelitian ini terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Widodo, A.S.S. (2024) 'Analisis kontribusi daya saing timah nasional di Indonesia', Jurnal Ekuilnomi, pp. 1–7.
- Amalia Safitri, N.D. (2025) 'Analisis risiko operasional produksi pada home industry konveksi dengan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)', Jurnal Muhammadiyah Jakarta, pp. 1–10.
- Department of Defense (1980) MIL-STD-1629A: Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. Washington, DC: United States Department of Defense.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2023) Buku Panduan Teknologi Penambangan Timah Lepas Pantai. Jakarta: Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara.
- Saputra, J.A. (2025) Pengaruh Keandalan Alat Produksi Mekanik terhadap Produktivitas Kapal Isap Produksi Timah 07. Bangka Belitung: Repository Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Stamatis, D.H. (2003) Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution. 2nd edn. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- Wibowo, A. and Kurniawan, T. (2020) 'Studi penerapan FMEA dalam meningkatkan keandalan dan keselamatan operasional peralatan industri',

- Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 8(3), pp. 210–221.
- Moubray, J. (1997) Reliability-Centered Maintenance. 2nd edn. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Smith, D.J. (2017) Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers. 9th edn. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- IEC (2018) IEC 60812: Failure Modes and Effects Analysis (FMEA and FMECA). Geneva: International Electrotechnical Commission..