

**PENERAPAN SISTEM TATA KERJA *MAINTENANCE* DENGAN
PENINJAUAN ULANG *EQUIPMENT CRITICALITY
ASSESSMENT (ECA)*, *FAILURE MODE EFFECT CRITICALITY
ASSESSMENT (FMECA)*, DAN *RELIABILITY CENTERED
MAINTENANCE (RCM)* PADA SEBUAH PERUSAHAAN
MINYAK DAN GAS BUMI**

**Implementation of a Maintenance Work System Through the Review of
Equipment Criticality Assessment (ECA), Failure Mode Effect
Criticality Assessment (FMECA), and Reliability Centered
Maintenance (RCM) in an Oil and Gas Company**

Neni Tri Widiarti¹, Adithya Sudiarno², Idham Chalid³

^{1,2}Institut Teknologi Sepuluh Nopember; ³Pertamina Hulu Energi
n3n1.widiarti@gmail.com; adithya.sudiarno@gmail.com

Article Info:

Submitted: Revised: Accepted: Published:

Oct 1, 2025 Oct 23, 2025 Nov 4, 2025 Nov 9, 2025

Abstract

This study examines the effectiveness of implementing the new Maintenance Work System (*Sistem Tata Kerja* or STK), enforced since 1 November 2024, in an oil and gas company, with a specific focus on the alignment between equipment criticality assessment outcomes and the revised STK requirements. The core issue lies in the potential shift in asset maintenance priorities and strategies due to misclassification of critical equipment, which may compromise operational reliability. The objective of this research is to revalidate the implementation of Equipment Criticality Assessment

(ECA), Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA), and Reliability Centered Maintenance (RCM) to ensure they are applied more effectively and efficiently in accordance with international standards—IEC 60300-3-11, IEC 60812, and ISO 14224. The methodology includes document analysis of relevant standards, literature review, and criticality assessment of 182 equipment units using the Reliability Block Diagram (RBD) approach and SAP-based classification systems. The results show that turbomachinery, particularly Gas Turbine Compressors (GTC), remain classified as Production Critical Equipment (PCE), while the glycol system, auxiliary compressors, and gas metering units have been reclassified as secondary or supporting assets. The study recommends strengthening the technical competencies of the maintenance team, applying logic decision tree methodologies in the analytical process, and integrating evaluation outcomes into work scheduling policies and spare parts management. These findings offer practical contributions to the optimization of reliability-based maintenance systems and support more precise technical decision-making in the governance of strategic assets within the oil and gas sector.

Keywords: Asset Register; Equipment Criticality Assessment; Failure Mode and Effect Criticality Analysis (FMECA); Reliability Centered Maintenance (RCM); Reliability-Based Maintenance

Abstrak: Penelitian ini membahas efektivitas penerapan Sistem Tata Kerja (STK) Pemeliharaan yang mulai diberlakukan sejak 1 November 2024 di perusahaan minyak dan gas bumi, dengan fokus pada kesesuaian hasil penilaian tingkat kekritisan peralatan dengan ketentuan STK terbaru. Permasalahan utama terletak pada potensi pergeseran prioritas dan strategi pemeliharaan aset akibat ketidaksesuaian klasifikasi peralatan kritis, yang dapat berdampak terhadap reliabilitas operasional. Tujuan penelitian ini adalah melakukan revalidasi terhadap *Equipment Criticality Assessment* (ECA), *Failure Mode Effect and Criticality Analysis* (FMECA), dan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), agar implementasinya lebih efektif dan efisien serta selaras dengan standar internasional IEC 60300-3-11, IEC 60812, dan ISO 14224. Metode yang digunakan mencakup analisis dokumen standar, studi literatur, dan penilaian terhadap 182 unit peralatan menggunakan pendekatan *Reliability Block Diagram* (RBD) serta sistem klasifikasi dalam SAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peralatan *turbomachinery*, seperti *Gas Turbine Compressor* (GTC), tetap dikategorikan sebagai *Production Critical Equipment* (PCE). Sementara itu, sistem glycol, kompresor pendukung, dan unit gas metering mengalami penyesuaian klasifikasi menjadi kategori *secondary/supporting*. Penelitian ini merekomendasikan penguatan kompetensi teknis tim pemeliharaan, penerapan *logic decision tree* dalam proses analisis, serta integrasi hasil evaluasi ke dalam kebijakan penjadwalan kerja dan manajemen suku cadang. Temuan ini memberikan kontribusi praktis terhadap optimalisasi sistem pemeliharaan berbasis keandalan dan mendukung pengambilan keputusan teknis yang lebih presisi dalam tata kelola aset strategis sektor migas.

Kata Kunci: Daftar Aset; Penilaian Kritisitas Peralatan; *Failure Mode and Effect Criticality Analysis* (FMECA); *Reliability Centered Maintenance* (RCM); Pemeliharaan Berbasis Keandalan.

PENDAHULUAN

Dokumen Sistem Tata Kerja (STK) adalah pengaturan secara tertulis baik berupa kebijakan, prosedur kerja, instruksi kerja atau catatan kerja (record) yang digunakan sebagai acuan kerja guna memastikan tujuan atau hasil kerja yang ingin dicapai dapat direalisasikan secara efektif dan efisien sesuai dengan batas persyaratan yang telah ditetapkan perusahaan (Puryani et al., 2018).

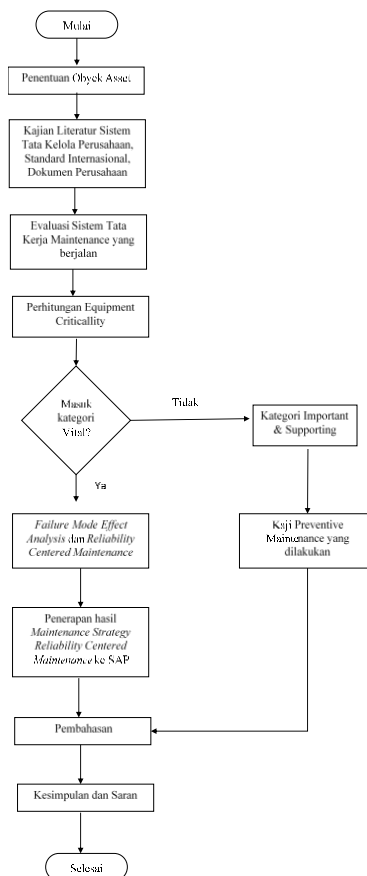
Tujuan penerapan *Maintenance & Reliability Management System* di PHE adalah untuk meningkatkan kinerja peralatan atau sistem, meningkatkan efisiensi dan produktivitas, serta menurunkan risiko downtime dan kegagalan peralatan yang dapat menyebabkan *Lost Production Opportunity* (LPO) (Fajri et al., 2025; Manesi & Kupang, 2015). Salah satu risiko utama yang harus dikendalikan adalah potensi terjadinya *unplanned shutdown*, karena hal tersebut dapat mengakibatkan hilangnya produksi. Jika kejadian gangguan produksi tidak terencana terus berulang, dampaknya tidak hanya pada kerugian produksi, tetapi juga dapat menurunkan reputasi perusahaan serta kepercayaan pemegang saham dan pemangku kepentingan lainnya (Fikri et al., 2023). Pada 1 November 2024 telah berlaku Sistem Tata Kerja terkait pemeliharaan yang dapat dijadikan pedoman untuk kegiatan *Maintenance Management*. Sistem Tata Kelola tersebut meliputi Tata Kerja Organisasi Pengelolaan *Equipment Tag Numbering*, *Equipment Criticality Assesment* (ECA), Pelaksanaan Analisis Kekritisitas Mode dan Dampak Kegagalan (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis - FMECA*) dan pelaksanaan Kegiatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Fasilitas Produksi. Revalidasi diperlukan untuk melihat dampak penerapan sistem tata kerja pada tingkat kekritisitas aset, *failure mode* dan hasil *reliability centered maintenance* (RCM) yang sudah dimiliki perusahaan dan diterapkan sejak tahun 2022.

Tujuan dari studi ini adalah untuk mempersiapkan pelaksanaan kegiatan Revalidasi *Equipment Criticality Assessment*, *Failure Mode Effect Analysis* dan *Reliability Centered Maintenance* agar lebih efektif dan efisien, memberikan pedoman pelaksanaan kegiatan bagi tim pelaksana kegiatan serta memberikan masukan kepada penyusun dokumen sistem tata kerja (STK) dan perusahaan.

METODE

Penelitian ini menelaah berbagai pedoman dan standar yang berkaitan dengan *Asset Register*, *Equipment Criticality Assessment* (ECA), *Failure Mode Effect and Criticality Analysis*

(FMECA) dan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Selain pedoman internal, penelitian ini juga mengacu pada standar internasional yang diakui dalam pengelolaan keandalan dan pemeliharaan peralatan, seperti: 1) IEC 60300-3-11 yang memberikan panduan dalam penerapan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). 2) IEC 60812 yang menjelaskan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam suatu sistem. 3) ISO 14224 yang berfokus pada pengumpulan dan analisis data keandalan serta pemeliharaan peralatan di industri minyak dan gas. 4) OREDA Handbook yang menyajikan data-data keandalan peralatan berbasis pengalaman industri minyak dan gas, baik di darat maupun lepas pantai. Dalam studi ini digunakan peralatan yang masuk ke dalam *Reliability Block Diagram* dan memiliki tingkat kekritisitas sesuai SAP (*Safety Critical Equipment, Production Critical Equipment, Safety Non Critical Equipment, Production Non Critical Equipment dan Others*) memiliki kategori data tingkat kekritisitas peralatan pada long text yaitu *High – Medium-Low*. Jumlah obyek penelitian adalah 182 peralatan. Penelitian dilakukan sejak bulan Juli sampai dengan akhir bulan Oktober 2025. Langkah pelaksanaan penelitian digambarkan dalam alur kerja sesuai gambar 1:



Gambar 1. Diagram alur penelitian

HASIL

1. Kajian kesesuaian IEC EC 60300-3-11 2009 *Reliability Centered Maintenance* dengan tata kerja

Proses dalam *Reliability Centered Maintenance* terdiri dari langkah:

- a. Inisiasi RCM dan Perencanaan (*RCM initiation and planning*) melalui Penentuan batasan dan tujuan analisa, Penentuan isi dari analisa dan identifikasi pengalaman atau keahlian yang dibutuhkan
- b. Analisa kegagalan fungsi (*functional failure analysis*) melalui aktivitas pengumpulan data lapangan, penentuan fungsi peralatan, kegagalan fungsi dan dampak tingkat kekritisan
- c. Seleksi langkah perawatan (*task selection*) dengan melihat evaluasi konsekuensi kegagalan dan penentuan langkah pencegahan kegagalan
- d. Implementasi dengan identifikasi detail *maintenance task* dan prioritasasi
- e. Perbaikan berkelanjutan melalui monitoring aktivitas pemeliharaan dan target terkait keselamatan, operasional dan target ekonomis.

Langkah perbaikan berkelanjutan dalam proses IEC EC 60300-3-11 2009 belum tercakup dalam Tata Kerja Organisasi Pelaksanaan *Reliability Centered Maintenance*. Untuk menutup gap tersebut diperlukan proses perbaikan berkelanjutan melalui monitoring dan evaluasi berkala, pemanfaatan data historis kegagalan dan review strategi secara sistematis.

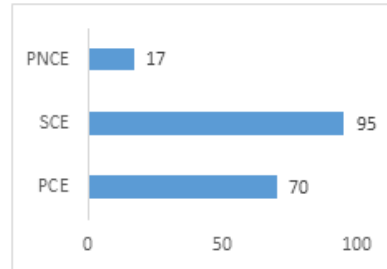
2. Kajian kesesuaian IEC 60812 – 2018 *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)* dengan tata kerja

FMEA dimulai dengan mendefinisikan sistem atau proses yang akan dianalisis, lalu mengidentifikasi fungsi utamanya, potensi mode kegagalan, dampak dari kegagalan tersebut, serta penyebabnya. Setiap mode kegagalan kemudian dievaluasi dengan menilai tingkat keparahan (*severity*), kemungkinan terjadi (*occurrence*), dan kemampuan untuk dideteksi (*detection*). Penilaian ini dapat digunakan untuk menghitung *Risk Priority Number (RPN)* atau dalam pendekatan risiko lainnya guna menentukan prioritas tindakan mitigasi.

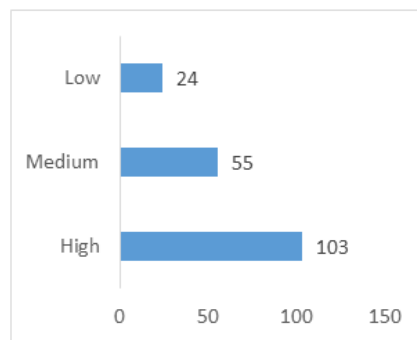
Tata Kerja Organisasi yang telah dibuat telah sesuai dengan kaidah yang diatur oleh IEC 60812:2018 *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*.

3. Kajian Revalidasi *Equipment Criticality Assessment* (ECA) berdasarkan Tata Kerja Organisasi

Sebaran tingkat kekritisan peralatan sebelum dilakukan revalidasi :

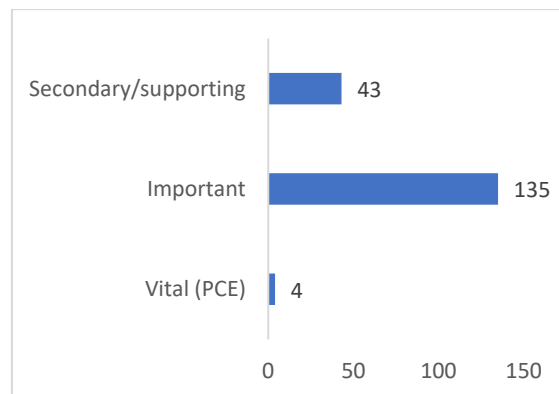


Gambar 2. Criticality kategori SAP



Gambar 3. Criticality High - Medium -Low

Hasil revalidasi *Equipment Criticality Assessment* (ECA) menggunakan tata kerja terbaru dapat dilihat pada gambar 4:



Gambar 4. Hasil revalidasi ECA

Hasil kajian memberikan beberapa dampak penting diantaranya potensi pergeseran prioritas dalam perencanaan pemeliharaan, strategi dan frekuensi pemeliharaan dan tingkat urgensi penanganan jika terjadi kegagalan. Perubahan kategori diharapkan tidak menurunkan tingkat keandalan maupun keselamatan operasi. Perlu menyampaikan kepada tim penyusun

Sistem Tata Kerja untuk memberikan arahan jelas pada penentuan strategi pemeliharaan bagi peralatan Non PCE (*Vital*).

Kegiatan pemeliharaan telah dilakukan pada peralatan perusahaan yang diidentifikasi sebagai *Production Critical Equipment* (PCE) namun dengan perhitungan menggunakan formula Sistem Tata Kerja 2024 masuk dalam kategori *Secondary / Supporting*. Hal ini menunjukkan pemeliharaan yang dilakukan telah cukup menjaga kehandalan peralatan.

Peralatan turbomachinery masuk dalam penilaian PCE saat dilakukan perhitungan ECA menggunakan TKO tahun 2024 sama dengan penilaian ECA SAP pada penilaian sebelumnya. Untuk peralatan yang terhitung PCE (*Vital*) maka akan dilanjutkan pada proses penentuan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) berdasarkan TKO Pelaksanaan Analisis Kekritisitas Mode dan Dampak (*Failure Mode, Effect and Criticality Analysis - FMECA*)

4. *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) berdasarkan TKO Pelaksanaan Analisis Kekritisitas Mode dan Dampak (*Failure Mode, Effect and Criticality Analysis - FMECA*)

FMEA pada penelitian ini dilaksanakan sesuai TKO FMECA, dengan mengidentifikasi mode kegagalan, menilai dampaknya, dan memprioritaskannya menggunakan nilai *Risk Priority Number* (RPN) berdasarkan parameter *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*.

Tabel 1. Risk Priority Number Hasil FMEA Berdasarkan Prinsip Pareto

No	<i>Subsystem</i>	<i>Item / Function</i>
1	<i>Air Inlet System</i>	<i>Air Filter System</i>
2	<i>Air Inlet System</i>	<i>Inlet Guide Vane</i>
3	<i>Starting System</i>	<i>Pneumatic Starter Motor</i>
4	<i>Lubrication System</i>	<i>Main Lube Oil Pump</i>
5	<i>Fuel System</i>	<i>Ignition Torch</i>
6	<i>Fuel System</i>	<i>Fuel Gas Control Valve</i>
7	<i>Fuel System</i>	<i>Secondary Fuel Gas Valve</i>
8	<i>Fuel System</i>	<i>Gas Torch Shutoff Valve</i>
9	<i>Compressor</i>	<i>Suction bearing seal system</i>
10	<i>Compressor</i>	<i>Discharge bearing seal system</i>
11	<i>Starting System</i>	<i>Inlet Gas Strainer</i>
12	<i>Fuel System</i>	<i>Fuel vent</i>

No	Subsystem	Item / Function
13	Fuel System	Fuel Gas Control Valve
14	Fuel System	Secondary Fuel Gas Valve
15	Lubrication System	Main Lube Oil Pump
16	Lubrication System	Pre/Post Lube oil
17	Fuel System	Primary Fuel Valve
18	Compressor	Rotor Set
19	Starting System	Pneumatic Starter
20	Starting System	Starter Inlet Pressure Regulator Valve
21	Fuel System	Gas Fuel Filter
22	Control & Monitoring	Battery Sistem
23	Control & Monitoring	Battery Charger
24	Control & Monitoring	Control PLC System
25	Control & Monitoring	Thermocouple
26	Air Inlet System	Air Inlet Filter
27	Air Inlet System	Bleed Valve

5. Penentuan kegiatan pemeliharaan berdasarkan *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Tabel 2. Strategi pemeliharaan gas turbine compressor 4000 jam hasil RCM

Jenis Task Utama	Subsystem
Inspeksi & test fungsi berkala	Starting System
Test fungsi	Lubrication System
Pemeriksaan & pembersihan	Fuel System
Pemeriksaan rutin	Lubrication System
Penggantian komponen jika rusak	Control & Monitoring

Tabel di atas menampilkan strategi pemeliharaan *gas turbine compressor* pada interval 4000 jam berdasarkan hasil analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Kegiatan pemeliharaan difokuskan pada inspeksi, pengujian fungsi, serta pembersihan dan pemeriksaan rutin pada subsistem utama seperti *Starting System*, *Lubrication System*, *Fuel System*, dan *Control & Monitoring* untuk memastikan kinerja optimal serta mencegah kerusakan dini.

Tabel 3. Strategi pemeliharaan gas turbine compressor 8000 jam hasil RCM

Jenis Task Utama	Subsystem
Discard / replacement task	Air Inlet System
Replacement berkala	Fuel System
Replacement berkala	Compressor
Inspeksi & replacement jika rusak	Control & Monitoring

Tabel di atas menunjukkan strategi pemeliharaan *gas turbine compressor* pada interval 8000 jam hasil RCM, yang berfokus pada kegiatan *replacement* atau penggantian berkala. Subsystem yang menjadi prioritas mencakup *Air Inlet System*, *Fuel System*, *Compressor*, serta *Control & Monitoring*, dengan tujuan menjaga keandalan sistem melalui penggantian komponen yang aus atau rusak setelah periode operasi yang panjang.

6. Identifikasi Usulan Perbaikan Sistem Tata Kerja Pelaksanaan *Equipment Criticality Assessment (ECA)*

Usulan perbaikan sistem tata kerja meliputi:

- a. Menambahkan aspek persyaratan kompetensi tim yang terlibat dalam workshop *Reliability Centered Maintenance* agar proses dan hasil RCM bersifat objektif, berbasis data, dan konsisten. Setiap orang yang terlibat harus memiliki profesionalisme karena mengandung unsur keahlian dalam optimasi pengetahuan, ketrampilan dan sumber daya dan strategi kerja.
- b. Hasil dari *Asset Criticality* dapat dihubungkan dengan pengaturan kebijakan perusahaan tentang *Work Priority*.

7. Identifikasi Usulan Perbaikan Sistem Tata Kerja TKO Pelaksanaan Analisis Kekritisian Mode Dan Dampak Kegagalan (*Failure Mode, Effect and Criticality Analysis – FMECA*)

Usulan perbaikan sistem tata kerja meliputi:

- a. Ditambahkan aturan pemilihan mode kegagalan tidak hanya melalui metode *brainstorming* dan eksplorasi semua kemungkinan skenario kegagalan. Diperlukan batasan kegagalan yang harus ditinjau dalam kategori *Probable failure mode*, *implausible failure mode*, *maintenable failure mode* dan *human error causes*
- b. Penggunaan *logic decision tree analysis* untuk memeriksa interaksi dan ketergantungan antar komponen dan sistem

8. Identifikasi Usulan Perbaikan Sistem Tata Kerja TKO Pelaksanaan Kegiatan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* Fasilitas Produksi

Usulan perbaikan sistem tata kerja meliputi:

- a. Menambahkan aspek persyaratan kompetensi tim yang terlibat dalam workshop *Reliability Centered Maintenance* agar proses dan hasil RCM bersifat objektif, berbasis data, dan konsisten
- b. Menambahkan aspek keberlanjutan program *Reliability Centered Maintenance* dengan melakukan review berkala program yang terdiri dari proses:
 - 1) Validasi hasil dengan melihat kinerja peralatan untuk memastikan pemilihan keputusan strategi pemeliharaan yang dilakukan tepat
 - 2) Pengaturan penyesuaian yang diperlukan pada program pemeliharaan bila ada

PEMBAHASAN

1. *Asset Register*

Asset register adalah sistem pencatatan yang digunakan untuk mendokumentasikan seluruh informasi terkait aset perusahaan, seperti spesifikasi, lokasi, nilai ekonomi, dan jadwal pemeliharaan. Dengan adanya pencatatan yang rapi dan sistematis, perusahaan dapat lebih mudah melacak aset yang dimiliki, mengurangi risiko kehilangan, serta memastikan pemanfaatan aset yang optimal. Selain itu, *asset register* juga membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih akurat terkait strategi pengelolaan aset.

Sementara itu, *taxonomy* dalam pengelolaan aset berperan dalam mengelompokkan aset berdasarkan kategori tertentu, seperti jenis, fungsi, atau tingkat kepentingannya dalam operasional. Pengelompokan ini sangat berguna untuk menyusun strategi pemeliharaan yang lebih efektif dan memastikan aset yang paling krusial mendapatkan perhatian yang lebih besar. Dengan *taxonomy* yang terstruktur, perusahaan dapat lebih mudah melakukan analisis risiko serta menentukan langkah pemeliharaan yang paling tepat (Diana, 2025; Botutihe, 2024).

Asset Register merupakan ringkasan data peralatan pada fasilitas produksi yang memuat informasi penting dan dimutakhirkan secara teratur. Data – data aset yang harus dilengkapi pada *asset register* tidak terbatas pada data:

- a. Identitas aset meliputi nama aset, tag number/ID dan jenis sset
- b. Detail aset meliputi merek dan model, nomor seri dan lokasi

- c. Informasi spesifikasi meliputi spesifikasi teknis, tanggal pembelian, penyedia aset, waktu operasional dan beban kerja
- d. Kondisi operasional Aset meliputi status dan kondisi dan riwayat kegagalan/ *failure*
- e. Detail pemeliharaan meliputi tanggal instalasi, jadwal pemeliharaan, jenis pemeliharaan dan riwayat pemeliharaan
- f. Informasi keuangan meliputi harga pembelian, nilai penyusutan dan tanggal pembelian
- g. Dokumentasi Tambahan meliputi manual dan dokumen teknis dan gambar atau foto.

Pengelolaan *Equipment Tag Numbering* adalah sistem penomoran unik yang digunakan untuk mengidentifikasi dan melacak peralatan dalam suatu industri atau fasilitas (Fa'iz et al., 2025).

2. *Equipment Criticality Assessment*

Tujuan dari analisa tingkat kekritisan aset adalah untuk mengetahui bagaimana kegagalan aset mempengaruhi kinerja organisasi. Analisa tingkat kekritisan peralatan memberikan kerangka kerja untuk menentukan tingkat perhatian yang diperlukan untuk pengembangan strategi pemeliharaan. Analisa tingkat kekritisan peralatan didasarkan pada analisa risiko yang mempertimbangkan kriteria seperti:

- a. Resiko kepada keselamatan manusia, lingkungan dan kualitas produk
- b. Dampak operasional seperti keuntungan, rantai pasok dll

Manfaat penilaian tingkat kekritisan peralatan:

- a. Menentukan prioritas pemeliharaan
- b. Menentukan jenis mitigasi risiko yang diterapkan pada peralatan
- c. Memastikan bahwa suku cadang tersedia untuk peralatan / aset yang memiliki tingkat kekritisan tinggi
- d. Menjadi acuan bagi insinyur/teknisi pemeliharaan untuk fokus pada peningkatan keandalan pada peralatan / aset yang memiliki tingkat kekritisan tinggi (Gulati, 2021).

Industri minyak dan gas (O&G) umumnya mengolah minyak mentah dan gas alam menjadi produk yang siap digunakan oleh konsumen. Proses ini dapat berlangsung di fasilitas pengolahan sentral dan melibatkan berbagai jenis peralatan, mulai dari peralatan statis, peralatan berputar (*rotating*), hingga sistem kontrol otomatis. Karena proses produksi bersifat kompleks, keandalan operasi hanya dapat terjaga apabila integritas peralatan dipelihara

dengan baik. Pemeliharaan peralatan merupakan salah satu faktor utama agar mesin dan fasilitas tetap berfungsi dengan baik. Proses klasifikasi peralatan (*equipment screening*) digunakan untuk menentukan prioritas pemeliharaan berdasarkan tingkat kekritisannya atau tingkat kepentingannya, sekaligus sebagai bagian dari pengendalian risiko di dalam organisasi. Sebagai contoh, peralatan dapat dikategorikan sebagai *safety-critical equipment* (SCE), *critical equipment* (CE), maupun *non-critical equipment* (NCE). Klasifikasi ini akan menjadi dasar penentuan jenis tindakan pemeliharaan yang diperlukan (Priyanta & Zaman, 2024).

Equipment Criticality Assessment (ECA) di perusahaan berfungsi sebagai komponen mendasar dari manajemen pemeliharaan yang efektif. Tujuan dari *Equipment Criticality Assessment* (ECA) adalah:

- a. Identifikasi peralatan kritis yang memiliki dampak terbesar terhadap produksi, kualitas, keselamatan bila mengalami kegagalan
- b. Prioritas pemeliharaan dan pergantian. Peralatan yang paling kritis akan menerima pemeliharaan yang lebih intensif dan alokasi sumber daya yang lebih besar
- c. Perencanaan kapasitas produksi dan investasi di masa depan
- d. Mengelola manajemen resiko yang terkait kegagalan peralatan. Langkah mitigasi disiapkan untuk mengurangi kemungkinan kegagalan peralatan
- e. Pengambilan keputusan alokasi sumber daya, pemeliharaan, pergantian dan investasi lebih baik.

Proses pelaksanaan *Equipment Criticality Assessment* (ECA) dilakukan melalui langkah antara lain:

- a. Membuat daftar peralatan yang akan dilakukan penilaian
- b. Mengevaluasi dan menilai *consequence* dan *likelihood* dengan mempertimbangkan *cost condition*, *safety condition*, *regulatory compliance requirement*, *failure rate*, *probability of failure* dan *redundancy rate*
- c. Melakukan pemetaan nilai *consequence* dan *likelihood* ke *criticality matrix*
- d. Menentukan *criticality rating* menggunakan *criticality matrix* dengan golongan *Vital* (PCE), *NonVital (Important)* dan *NonVital (Secondary/Supporting)*
- e. Menyesuaikan *criticality rating* di *Computerized Maintenance Management System* (CMMS)

f. Melaporkan hasil pelaksanaan ECA ke fungsi penanggung jawab peralatan (Purwanto et al., 2025).

3. *Failure Modes Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode Effect Analysis sering diterapkan dalam analisis kegagalan untuk memastikan sistem tetap berfungsi dengan baik. FMEA meneliti setiap komponen dan potensi kegagalannya. FMEA berfokus pada prinsip *Reliability Centered Maintenance* kedua, yaitu mengidentifikasi kegagalan komponen yang dapat menyebabkan gangguan dalam sistem. Dengan memahami kegagalan ini, tim dapat menentukan tindakan pencegahan dan memastikan sistem tetap berjalan dengan optimal (Muhammad, 2024; Wulandari, 2020).

Dalam analisis mode kegagalan, penting untuk mempertimbangkan apakah kegagalan terlihat atau tersembunyi serta dampaknya terhadap keselamatan, lingkungan, kualitas, atau regulasi. Panduan berikut dapat digunakan untuk menerima, menolak, atau menunda analisa mode kegagalan:

- a. *Probable Failure Mode*: Mode kegagalan yang mungkin terjadi setidaknya sekali selama masa pakai alat. Jika tidak mungkin terjadi, dianggap sebagai kejadian langka dan diabaikan
- b. *Implausible Failure Mode*: Mode kegagalan yang tidak sesuai dengan hukum alam atau mustahil terjadi. Mode ini diberi label "*Implausible*" dan tidak dianalisis lebih lanjut
- c. *Maintainable Failure Mode*: Mode kegagalan yang dapat diperbaiki
- d. *Human Error Causes*: Mode kegagalan yang disebabkan oleh kesalahan manusia dicatat tetapi tidak dianalisis lebih lanjut karena sifatnya yang acak dan sulit dicegah (Gulati, 2021).

Tata Kerja Pelaksanaan Analisis Dampak, Mode Kegagalan dan Kekritisitas (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis – FMECA*) adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi item atau proses yang berpotensi gagal. Tujuan dari FMECA adalah:

- a. Memenuhi kriteria *Safe, Reliable and Efficient Operations*
- b. Mengidentifikasikan mode kegagalan yang memiliki efek yang tidak diinginkan pada pengoperasian sistem
- c. Mencegah kegagalan yang merugikan dan meningkatkan produk secara keseluruhan
- d. Meningkatkan desain dan pengembangan proses dengan melakukan intervensi di awal program pengembangan
- e. Mengidentifikasikan resiko sebagai bagian dari proses manajemen resiko

- f. Memenuhi kewajiban hukum dan bisnis dengan menunjukkan bahwa resiko telah diidentifikasi dan diperhitungkan
- g. Mengembangkan dan mendukung program pengujian keandalan
- h. Memberikan produk dan layanan yang lebih aman, andal dan berkualitas lebih tinggi.

Team mempunyai peranan penting dalam menganalisis dan anggota berkontribusi sesuai keahlian dalam proses analisis FMECA. Peran dan tanggung jawab dalam team meliputi:

- a. Pimpinan tim (*team leader*) bertanggung jawab untuk mengawasi keseluruhan proses FMECA dengan memastikan bahwa analisis tetap pada jadwal dan memfasilitasi diskusi untuk keberhasilan FMECA
- b. Anggota tim meliputi personal yang memiliki kualifikasi sebagai *Subject Matter Experts* (SME) yang memiliki pengetahuan mendalam terhadap proses yang dianalisa, *Design Engineer* bertanggung jawab mengevaluasi bagaimana sistem bekerja dengan identifikasi potensi mode kegagalan dan dampaknya berkontribusi meningkatkan keandalan sistem
- c. *Process Engineer* bertanggung jawab membantu mengidentifikasi potensi resiko dari mode kegagalan yang berkontribusi terhadap optimasi proses
- d. *Quality Control Specialist* bertanggung jawab memastikan analisis FMECA sesuai dengan standard dan persyaratan mutu yang ditetapkan
- e. Project Managers bertanggung jawab untuk mengkoordinasikan analisis FMECA dalam konteks manajemen proyek yang lebih luas. *Project Manager* memastikan FMECA selaras dengan tujuan, jadwal dan sumber daya proyek.

Tahapan untuk proses FMECA diatur dengan langkah- langkah yang diperlukan:

- a. Membuat daftar komponen atau proses yang dianalisis
- b. Menentukan fungsi komponen yang berkontribusi terhadap kinerja sistem keseluruhan
- c. Memeriksa interaksi dan ketergantungan antar komponen
- d. Mempertimbangkan pengaruh eksternal yang mempengaruhi komponen atau fungsi. Faktor eksternal seperti kondisi lingkungan atau perilaku pengguna dapat mempengaruhi keandalan sistem

- e. Mendokumentasikan informasi komponen selama proses analisa

Tahapan untuk menganalisis mode kegagalan dengan langkah:

- a. Membuat potensi mode kegagalan melalui brainstorming bersama anggota tim
- b. Mempertimbangkan berbagai jenis kegagalan yang mungkin dialami komponen / sistem
- c. Menggunakan data historis dan pengalaman untuk mengidentifikasi mode kegagalan
- d. Mengevaluasi factor eksternal yang berkontribusi terhadap kegagalan
- e. Mendokumentasikan mode kegagalan

Tahapan untuk mengevaluasi efek kegagalan dengan langkah:

- a. Menilai potensi dampak kegagalan dari setiap mode kegagalan pada sistm dan pengguna
- b. Menentukan peringkat tingkat keparahan untuk setiap mode kegagalan berdasarkan konsekuensi yang mungkin ditimbulkan
- c. Menggunakan tingkat keparahan, skala yang telah ditentukan untuk memastikan konsistensi dalam evaluasi
- d. Mempertimbangkan konsekuensi potensial dalam hal keselamatan, fungsionalitas, keandalan atau faktor lain
- e. Membuat prioritas mode kegagalan yang teridentifikasi berdasarkan potensi tingkat keparahan, deteksi dan kemampuan deteksi. Penetapan prioritas ini membantu untuk fokus pada mode kegagalan paling kritis yang memerlukan perhatian.
- f. Mendokumentasikan evaluasi dampak kegagalan untuk setiap mode kegagalan.

Menghitung nomor prioritas risiko/*risk priority numbering* (RPN) dan memprioritaskan tindakan melalui langkah:

- a. Penomoran prioritas risiko (*risk priority numbering*)

RPN dihitung menggunakan rumus berikut:

$$RPN = Severity Scale * Occurence Scale * Detection Scale$$

Tujuan utama penghitungan RPN adalah untuk memprioritaskan upaya mitigasi. Nilai RPN lebih tinggi dianggap lebih kritis yang memerlukan perhatian dan tindakan segera

- b. Mengidentifikasi mode kegagalan berisiko tinggi

- c. Menentukan strategi mitigasi. Mempertimbangkan pendekatan untuk tujuan mengurangi tingkat keparahan, Mengurangi kejadian, Meningkatkan deteksi
- d. Mengalokasikan sumber daya dengan bijak
- e. Menerapkan tindakan perbaikan berdasarkan daftar prioritas dan sangat penting berkolaborasi antara anggota tim dan pemangku kepentingan
- f. Memantau secara teratur kemajuan tindakan perbaikan dan nilai kembali nilai- nilai RPN (Arafah, 2023; Anggraeni, 2025).

4. *Reliability Centered Maintenance*

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah pendekatan sistematis dalam merencanakan strategi pemeliharaan untuk meningkatkan kehandalan peralatan. Setiap peralatan memiliki potensi kegagalan yang harus diidentifikasi dan ditangani guna meminimalkan risiko kegagalan peralatan (Simanungkalit, et al., 2023; Laumma et al., 2024). Tujuan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* adalah untuk mengalokasikan sumber daya secara efisien dengan memprioritaskan perawatan berdasarkan dampak kegagalan terhadap keselamatan manusia, lingkungan, kualitas produk dan dampak operasional. Proses *Reliability Centered Maintenance (RCM)* menggunakan tujuh pertanyaan pada peralatan atau system yang sedang dinilai. Pertanyaan tersebut terdiri dari:

- a. Apakah fungsi dari aset dan standar kinerja sesuai konteks operasi saat ini?
- b. Bagaimana aset tersebut dapat gagal dalam memenuhi fungsinya?
- c. Apa penyebab kegagalan fungsi tersebut?
- d. Apa yang terjadi jika penyebab kegagalan muncul?
- e. Bagaimana pengaruh kegagalan tersebut?
- f. Tindakan apakah yang dilakukan untuk mencegah kegagalan tersebut?
- g. Bagaimana jika tidak ditemukan tindakan proaktif tersebut?

Menerapkan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* memungkinkan perawatan menjadi lebih efisien, pemanfaatan sumber daya lebih optimal, serta pengurangan biaya perawatan. *Reliability Centered Maintenance (RCM)* berkontribusi dalam meningkatkan keandalan sistem dan memperpanjang umur peralatan. Pendekatan ini mendukung keselamatan kerja dengan mengidentifikasi risiko serta menerapkan langkah-langkah pencegahan yang sesuai (Gulati, 2021; Aritonang et al., 2015).

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu pendekatan yang sistematis dan terstruktur untuk menentukan strategi pemeliharaan yang paling tepat untuk suatu peralatan. Tujuan utama RCM adalah untuk meningkatkan keandalan (*reliability*) peralatan dengan meminimalkan resiko kegagalan. Dengan demikian, resiko terjadinya kegagalan fungsional peralatan dapat dikurangi. Hal ini dapat memberikan dampak positif berupa meningkatnya keamanan pada peralatan, pengurangan waktu henti (*downtime*) dari peralatan, serta menurunnya *Lost Production Opportunity* (LPO) dan biaya pemeliharaan.

Secara umum, RCM meninjau aspek pemeliharaan suatu peralatan dengan menjawab persoalan-persoalan berikut:

- a. Apa fungsi dari peralatan yang hendak dipelihara?
- b. Seperti apa kegagalan fungsional yang mungkin terjadi pada peralatan?
- c. Apa saja konsekuensi/dampak dari kegagalan tersebut?
- d. Apa saja yang dapat dilakukan untuk mengurangi resiko kegagalan, mengidentifikasi gejala kegagalan, atau menurunkan dampak kegagalan?

Dengan memperhitungkan permasalahan-permasalahan di atas, strategi pemeliharaan peralatan yang tepat dapat dipilih untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman, meminimalkan resiko kegagalan, dan mengurangi *cost* yang timbul akibat terjadinya kegagalan. Langkah-langkah RCM secara umum antara lain:

- a. Pembentukan RCM Team: tim yang dibentuk untuk melakukan analisis RCM adalah tim yang terlibat pada bidang-bidang *safety*, *project/design*, operasi, pemeliharaan, dan *reliability*/keandalan.
- b. Identifikasi fungsi peralatan: peralatan yang akan dianalisis melalui RCM harus diidentifikasi fungsi utamanya, beserta standar kinerja yang diharapkan dari peralatan. Fungsi dan standar kinerja yang ditetapkan digunakan untuk menentukan batasan kegagalan fungsional dari peralatan tersebut.
- c. Pengumpulan data peralatan: data yang dikumpulkan oleh tim berupa spesifikasi peralatan serta data-data historis peralatan yang meliputi kinerja kegagalan, data kegagalan, pemeliharaan, dan *downtime* peralatan. Data-data yang berhasil dikumpulkan menjadi dasar untuk melakukan analisis lanjutan.
- d. Identifikasi kekritisan dan mode kegagalan: Pada tahap ini, dilakukan *Failure Mode, Effect, dan Criticality Analysis* (FMECA) untuk mengidentifikasi tingkat kekritisan

peralatan serta mengetahui semua mode kegagalan yang menghalangi peralatan dari menjalankan fungsinya.

- e. Analisa menggunakan *RCM Logic Tree*
- f. Dokumentasi dan *input* ke dalam aplikasi *Computerized Maintenance Management System* yang digunakan perusahaan yaitu SAP.
- g. Implementasi kegiatan pemeliharaan dan proses evaluasi RCM.

5. *Gas Turbine Compressor*

Gas Turbine Compressor merupakan salah satu peralatan *Production Critical Equipment* (PCE) yang sangat penting dalam menjaga kelangsungan operasi produksi minyak dan gas bumi (Sumantri, et al., 2025; Dhaneswara & Achmadi, 2022). Peralatan ini berfungsi untuk meningkatkan tekanan gas bumi serta mempertahankan tekanan operasi agar aliran fluida dari sumur tetap stabil dan tidak mengalami tekanan balik (*back pressure*). Secara umum, sistem ini terdiri dari turbin gas sebagai penggerak utama dan kompresor sentrifugal sebagai unit pengompresi gas. Turbin gas menghasilkan energi mekanik dari proses ekspansi gas, kemudian energi ini digunakan untuk memutar kompresor sehingga gas dapat dikompresi hingga mencapai tekanan yang diinginkan. Proses kerja turbin gas melibatkan empat tahapan utama, yaitu kompresi, pembakaran, ekspansi, dan pembuangan gas sisa. Pada tahap kompresi, udara atmosfer dihisap dan dimampatkan oleh *engine compressor* untuk dialirkan ke ruang pembakaran. Dalam tahap pembakaran, udara bertekanan dicampur dengan bahan bakar dan dibakar, menghasilkan gas panas bertekanan tinggi. Gas ini kemudian diekspansikan melalui sudu turbin untuk menghasilkan energi mekanik yang memutar poros turbin pada tahap ekspansi. Sisa gas buang selanjutnya dilepaskan melalui *exhaust stack* (Klaus, 2019).

Komponen sistem utama dari *Gas Turbine Compressor* terdiri dari:

a. *Starting System*

Starting system berfungsi untuk memberikan putaran awal pada mesin dari kondisi diam hingga mencapai kecepatan minimum yang diperlukan untuk menyalakan proses pembakaran. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan suplai udara atau gas bertekanan tinggi.

b. *Fuel System*

Gas Fuel System akan mengirimkan bahan bakar pada tekanan dan laju alir pada nilai yang telah ditentukan. Sistem juga secara otomatis memberikan sejumlah bahan bakar sesuai tahapan selama akselerasi dan mengatur bahan bakar selama operasi untuk menjaga temperatur dan kecepatan engine sesuai dengan nilai yang ditentukan.

c. *Control and Monitoring System*

Sistem yang bertugas mengendalikan parameter operasi seperti suhu, tekanan, kecepatan dan getaran untuk mencegah kerusakan pada mesin turbin gas dan peralatan yang digerakkan. Proses *startup* dan *shutdown* memerlukan urutan yang dikendalikan secara teratur oleh *control system* berupa *processor* yang membaca status perangkat input seperti tombol panel pengendali dan mengatur perangkat output tampilan yang dibutuhkan operator. *Control and monitoring system* melakukan evaluasi terhadap input dan mengirimkan perintah melalui modul perangkat.

d. *Fire & Gas Protection*

Sistem ini berfungsi mendeteksi potensi kebakaran atau kebocoran gas serta melakukan aksi proteksi otomatis. Sistem ini dilengkapi dengan *gas detector*, *thermal sensor* dan *ventilation fan*. Jika terdeteksi kebocoran gas atau muncul api, sistem akan mengaktifkan alarm, mengirim sinyal ke sistem *emergency shutdown*, menutup aliran bahan bakar, dan menghentikan operasi mesin. Sistem ini merupakan bagian dari *safety barrier* untuk mencegah insiden besar seperti ledakan atau kebakaran di area fasilitas produksi.

e. *Lubrication System*

Oil system sangat penting untuk operasi mesin turbin dan *gas compressor* atau *generator*. Fungsi utama dari *oil system* adalah pelumasan, pendinginan, seal, pembersih, proteksi dan operasi. *Lubrication oil system* memberikan pelumasan kepada setiap permukaan yang bergesekan dan sebagai pendingin untuk *internal part* pada engine, *accessories gear*, *boost compressor* dan *bearing generator*.

f. *Gas Compressor*

Fungsi dari sebuah *gas compressor* adalah menaikkan tekanan dari *natural gas* untuk suatu keperluan tertentu. *Power turbine* memindahkan energi mekanik ke compressor dan compressor mengubah energi mekanik tersebut menjadi energi dinamis dengan cara mengkompresi *inlet gas*. Pada setiap proses kompresi, pressure dari suatu volume gas dinaikkan dari suatu level ke level yang lain dengan menambahkan energy ke gas yang sedang diproses.

g. *Air Inlet System*

Sistem ini menyediakan udara bersih yang diperlukan untuk proses pembakaran serta pendinginan komponen turbin. Sistem ini juga mencegah terjadinya kondisi surge pada kompresor dan dapat menyuplai udara tambahan untuk sistem bahan bakar. Komponen utamanya meliputi *air filter system*, *air inlet filter*, *bleed valve* dan *inlet guide vanes* (IGV) yang dapat disesuaikan untuk mengoptimalkan aliran udara. Kualitas udara yang masuk sangat mempengaruhi efisiensi serta umur pakai turbin sehingga pemeliharaan rutin pada sistem ini menjadi penting.

Implikasi penelitian penting terhadap penerapan sistem manajemen pemeliharaan berbasis keandalan (Reliability Centered Maintenance) di industri minyak dan gas bumi. Hasil revalidasi ECA menunjukkan perlunya penyesuaian strategi pemeliharaan terhadap perubahan tingkat kekritisitas peralatan agar sumber daya dialokasikan secara efektif. Selain itu, integrasi hasil analisis criticality dengan kebijakan perusahaan tentang prioritas kerja dan manajemen suku cadang akan meningkatkan efisiensi operasi dan keandalan aset secara keseluruhan. Penelitian ini juga memperkuat pentingnya proses evaluasi berkelanjutan dan monitoring kinerja peralatan untuk memastikan penerapan STK yang adaptif terhadap risiko operasional.

Keterbatasan penelitian: 1) Penelitian ini hanya berfokus pada satu perusahaan migas dengan jumlah sampel peralatan terbatas (182 unit), sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasikan ke industri lain dengan karakteristik operasi berbeda. 2) Analisis dilakukan berdasarkan data historis dan formula internal perusahaan tanpa melakukan verifikasi lapangan secara mendalam terhadap seluruh peralatan. 3) Faktor manusia seperti kompetensi tim, budaya organisasi, dan keterlibatan operator belum dianalisis secara kuantitatif, padahal hal tersebut berpengaruh terhadap efektivitas penerapan RCM. 4) Tidak seluruh aspek keberlanjutan program RCM (continuous improvement loop) tercakup secara penuh, karena penelitian difokuskan pada tahapan revalidasi sistem tata kerja.

KESIMPULAN

Hasil revalidasi *Equipment Criticality Assessment*, Peralatan *Gas Turbine Compressor* masih masuk kategori *vital* (PCE). Peralatan *Glycol/ Filtration System*, *compressor* dan *gas metering* di SAP diidentifikasi sebagai *Production Critical Equipment* (PCE) namun dengan perhitungan sistem tata kerja 2024 masuk dalam kategori *Secondary / Supporting*. Perawatan yang telah dilakukan

diharapkan tidak mempengaruhi kehandalan peralatan. Perusahaan perlu memperkuat penerapan keandalan peralatan dengan memastikan hasil penilaian criticality terintegrasi ke dalam proses lain seperti manajemen suku cadang dan pengelolaan *Safety Critical Equipment*. Pendekatan berbasis risiko seperti *Reliability Centered Sparepart* dapat membantu memprioritaskan pengadaan komponen secara lebih tepat berdasarkan *Risk Priority Number* (RPN). Analisis kegagalan juga perlu difokuskan pada dampak yang benar-benar signifikan, didukung metode seperti *logic decision tree*, dijalankan oleh tim yang kompeten, dan dievaluasi secara berkala agar program RCM tetap berjalan efektif dan berkelanjutan.

Kontribusi penelitian secara teoretis dan praktis terhadap bidang manajemen pemeliharaan dan keandalan industri (Maintenance & Reliability Engineering), di antaranya: 1) Menawarkan model penerapan revalidasi Equipment Criticality Assessment (ECA) yang disesuaikan dengan standar internasional (IEC 60300-3-11, IEC 60812, dan ISO 14224). 2) Mengembangkan rekomendasi perbaikan tata kerja FMECA dan RCM berbasis pendekatan *logic decision tree* serta kompetensi tim analis, yang dapat menjadi referensi bagi perusahaan lain dalam meningkatkan reliability system. 3) Menunjukkan hubungan antara hasil penilaian criticality dengan strategi pemeliharaan dan manajemen suku cadang berbasis risiko, yang dapat memperkuat literatur tentang integrasi risk-based maintenance di sektor energi.

Saran untuk peneliti selanjutnya: 1) Melakukan penelitian lanjutan dengan melibatkan lebih banyak jenis peralatan dan perusahaan agar diperoleh hasil yang lebih representatif dan dapat dibandingkan antar industri. 2) Mengembangkan model quantitative risk assessment untuk mengukur dampak perubahan kategori criticality terhadap biaya pemeliharaan dan risiko kehilangan produksi (LPO). 3) Memasukkan faktor kompetensi sumber daya manusia dan efektivitas pelatihan RCM sebagai variabel penelitian untuk menilai pengaruhnya terhadap hasil revalidasi sistem tata kerja. 4) Menerapkan metode analisis Reliability Block Diagram (RBD) atau Fault Tree Analysis (FTA) guna memvalidasi hasil FMECA dan memastikan interaksi antar sistem peralatan lebih akurat. 5) Mengintegrasikan pendekatan digital maintenance atau AI-based predictive maintenance dalam proses RCM agar sistem pemeliharaan menjadi lebih adaptif, efisien, dan berbasis data real time.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, S. F. A. (2025). *Identifikasi Dan Pengendalian Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Proses Sawmill menggunakan Metode HIRARC dan FMEA (Studi Kasus: PT. Karya Mina Putra)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Arafah, N. R. M. (2023). *Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pada Proses Produksi Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA)(Studi Kasus: PT. IGP Internasional Sleman)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Aritonang, Y. K., Setiawan, A., & Iskandar, C. (2015). Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk Menentukan Strategi Perawatan Fasilitas Produksi Kain. *Jurnal Telematika*, 7(2), 75-80.
- Botutihe, N. (2024). *Manajemen Aset Publik*. Mega Press Nusantara.
- Dhaneswara, A. P., & Achmadi, F. (2022). Analisa Komponen Kritis Dan Penerapan Reliability Centered Maintenance II (RCM II)(Studi Kasus: Gas Turbine Compressor (GTC) Pada Fasilitas Eksplorasi Dan Produksi Lepas Pantai PT. X). In *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan* (Vol. 2, pp. 540-546).
- Diana, F. (2025). *Transformasi Digital dalam Pengelolaan Aset Tetap untuk Efisiensi Organisasi*. Takaza Innovatix Labs.
- Fa'iz, M., Endrasmono, J., Irsyad, S. M., Subiyanto, L., Pujiputra, A. J. P., & Mayangsari, M. K. (2025). Sistem Input Output Inventaris Tools Menggunakan Long Range RFID Study Case di PLTA Sutami. *Journal of Applied Smart Electrical Network and Systems*, 6(01), 38-47. <https://doi.org/10.52158/jasens.v6i01.1152>
- Fajri, T. I., Hasma, N. A., Syafnur, A., Niesa, C., Nofitri, R., Irawati, N., ... & Asbar, V. (2025). *Konsep Dasar Jaringan Komputer*. Serasi Media Teknologi.
- Fikri, K., Darmadi, D. B., & Nugraha, D. (2023). Implementation of Maintenance and Reliability Management System (Mrms) in Pertamina Hulu Energy Subholding Upstream (Phe Shu) Through Field Assessment of Iso 55001. *J. Rekayasa Mesin*, 14(1), 363-370. <https://doi.org/10.21776/jrm.v14i1.1589>
- Gulati, G. (2021). *Maintenance and Reliability Best Practices*. Third. South Norwalk: Industrial Press Inc.
- Klaus, K. R. B. (2019). *Theory Turbine Gas toIntroduction*, 3rd ed. USA: Solar Turbine.
- Laumma, M. A., Yunus, K., & Haslinda, H. (2024). Analisis Perawatan Mesin Bubut Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada CV. Sumber Jaya Makassar. *JNSTA Adpertisi Journal*, 4(1), 19-25. <https://doi.org/10.62728/jnsta.v4i1.517>
- Manesi, D., & Kupang, A. P. (2015). Penerapan Preventive Maintenance untuk Meningkatkan Kinerja Fasilitas Praktik Laboratorium Prodi Pendidikan Teknik Mesin Undana. *Jurnal Teknologi*, 3(4), 1693-9522.
- Muhammad, R. (2024). *Analisis Risiko Kegagalan Pada Proses Pengantongan Urea 50kg Dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) di PT. Pupuk Kaltim* (Doctoral dissertation, Universitas Malikussaleh).
- Priyanta, D., & Zaman, M. B. (2024). Maintenance Priority: A Literature Review of Equipment Criticality Analysis in the Oil and Gas Industries. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1423, No. 1, p. 012010). IOP Publishing. <https://doi:10.1088/1755-1315/1423/1/012010>

- Purwanto, A., Megasari, A. D., & Nuryadi, N. (2025). Evaluasi Manajemen Pemeliharaan Berbasis RCM untuk Peralatan Produksi Berkategori Vital terhadap Keselamatan (Criticality A) dan Proses Produksi (Criticality B) pada PT. EMC di Kabupaten Bojonegoro. *AKADEMIK: Jurnal Mahasiswa Humanis*, 5(1), 563-573. <https://doi.org/10.37481/jmh.v5i1.1273>
- Puryani, P., Berlianty, I., & Purwanto, P. (2018). Perancangan sistem kerja untuk meningkatkan produktivitas dengan pendekatan sistem sosioteknik. *Opsi*, 11(1), 94-104. <https://doi.org/10.31315/opsi.v11i1.2336>
- Simanungkalit, R. M., Suliawati, S., & Hernawati, T. (2023). Analisis Penerapan Sistem Perawatan dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) pada Cement Mill Type Tube Mill di PT Cemindo Gemilang Medan. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 2(1), 72-83. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i1.199>
- Sumantri, B., Ismail, A. Y., & Syamsuri, S. (2025). Analisis Mitigasi Risiko Kegagalan Operasional Peralatan Melalui Pendekatan RCM Dan MVSM Dengan Perspektif FMECA:(Studi Kasus Unit Gas Turbine Compressor Centaur 50 Pada Offshore Platform Di PT. XYZ). *Nusantara of Engineering (NOE)*, 8(01), 65-74. <https://doi.org/10.29407/noe.v8i01.24385>
- Wulandari, R. I. N. I. (2020). Failure Mode Effect Analysis (FMEA) di Pengantongan Pupuk Urea (PPU) PT Pupuk Sriwidjaja Palembang. *Universitas Srinwijaya*.