*ISSN 2338-7122*

# PREVENTIVE MAINTENANCE MESIN WÄRTSILÄ 18V50SG MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE DI PT. X

***Muliyani[1], A.Amri[2]****

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

*Email: [muliyani.230130018@mhs.unimal.ac.id, iramri@unimal.ac.id]

## Abstrak

Keandalan peralatan pembangkit merupakan salah satu faktor penting dalam menjaga kontinuitas dan efisiensi operasi pembangkitan tenaga listrik. Pada PT. X ditemukan beberapa gangguan pada *Charge Air Filter* (CAF), seperti differential pressure tinggi, filter tersumbat, filter robek atau jebol, panel kotor atau mengalami deformasi, serta kondisi *Viscosine Oil* yang berkurang dan terkontaminasi. Penelitian ini bertujuan menentukan tindakan pemeliharaan yang tepat pada *Charge Air Filter* mesin Wärtsilä 18V50SG menggunakan pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM). Data penelitian berupa data historis kerusakan periode Juni–Desember 2025, observasi lapangan, wawancara, dan informasi pemeliharaan. Analisis dilakukan melalui seleksi komponen menggunakan diagram Pareto, penentuan fungsi dan kegagalan fungsional, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Logic Tree Analysis* (LTA), dan *Task Selection*. Dari 21 kejadian kerusakan, *Filter Element* mengalami 7 kejadian, DD Panel 6 kejadian, dan *Viscosine Oil* 3 kejadian sehingga ketiganya menjadi prioritas dengan kontribusi kumulatif 69%. Hasil analisis menunjukkan bahwa komponen dengan frekuensi kerusakan tertinggi adalah *Filter Element* sebanyak 7 kejadian, *DD Panel* sebanyak 6 kejadian, dan *Viscosine Oil* sebanyak 3 kejadian. Ketiga komponen tersebut memiliki persentase kumulatif sebesar 76,19% dari total 21 kejadian kerusakan selama periode Juni–Desember 2025. Berdasarkan analisis FMEA, mode kegagalan dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi adalah penyumbatan Filter Element dengan nilai 224, diikuti DD Panel kotor dengan nilai 210. Analisis LTA dan *Task Selection* selanjutnya digunakan untuk menentukan tindakan pemeliharaan yang sesuai dengan karakteristik kegagalan masing-masing komponen.

**Kata Kunci**: *Preventive Maintenance*; *Reliability Centered Maintenance*; *Charge Air Filter*; FMEA; LTA.

## 1. Pendahuluan

Pembangkit listrik berbasis mesin gas membutuhkan keandalan peralatan yang tinggi karena kegagalan komponen dapat menyebabkan penurunan performa, gangguan operasi, hingga penghentian unit. Pemeliharaan yang dirancang secara sistematis diperlukan agar fungsi aset tetap terjaga dan kegiatan perawatan tidak hanya bersifat reaktif. Studi mutakhir menunjukkan bahwa RCM dapat digunakan sebagai kerangka pengambilan keputusan untuk mengarahkan preventive maintenance dan *condition-based maintenance* berdasarkan fungsi serta konsekuensi kegagalan [1], [2].

PT. X yang memiliki aktivitas operasional dan pemeliharaan yang mendukung keandalan unit pembangkit. Penelitian difokuskan pada *Charge Air System*, khususnya *Charge Air Filter* yang berfungsi menyaring udara sebelum menuju *turbocharger* dan ruang bakar. Kondisi CAF yang tidak optimal dapat menghambat aliran udara dan memengaruhi kinerja sistem [3].

Berdasarkan data historis Juni–Desember 2025, terdapat 21 kejadian kerusakan pada komponen yang tercatat. *Filter Element* mengalami 7 kejadian, DD Panel 6 kejadian, dan *Viscosine Oil* 3 kejadian. Ketiga komponen tersebut memiliki frekuensi kumulatif 16 kejadian atau 69% dari total kerusakan, sehingga diprioritaskan untuk analisis RCM [4].

FMEA banyak digunakan untuk memprioritaskan mode kegagalan melalui penilaian *severity*, *occurrence*, dan *detection*, sedangkan LTA digunakan untuk menentukan konsekuensi kegagalan dan membantu memilih tindakan perawatan [5]–[8]. Penelitian pada berbagai sistem industri juga menunjukkan bahwa kombinasi RCM dan FMEA dapat menghasilkan strategi pemeliharaan yang lebih terarah terhadap komponen kritis [9]–[12].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menentukan tindakan perawatan pada *Charge Air Filter* mesin Wärtsilä 18V50SG menggunakan metode RCM, sehingga dapat menjadi

*ISSN 2338-7122*

dasar usulan *preventive maintenance* yang lebih sesuai dengan karakteristik kegagalan komponen.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini membahas penentuan komponen kritis pada Charge Air Filter, analisis risiko kegagalan menggunakan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), klasifikasi konsekuensi kegagalan menggunakan Logic Tree Analysis (LTA), serta penentuan tindakan pemeliharaan yang sesuai melalui metode Reliability Centered Maintenance (RCM).

## 2. Landasan Teori

### 2.1 *Maintenance* dan *Preventive Maintenance*

*Maintenance* merupakan kegiatan untuk mempertahankan atau mengembalikan kemampuan aset agar dapat menjalankan fungsi yang dipersyaratkan. *Preventive maintenance* dilakukan sebelum kegagalan terjadi melalui kegiatan terencana seperti pemeriksaan, pembersihan, penggantian, dan pemantauan kondisi. Perencanaan *preventive maintenance* perlu mempertimbangkan risiko kegagalan, kondisi aset, dan konsekuensi operasional [1], [9].

### 2.2 *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

RCM merupakan pendekatan untuk menentukan kebutuhan pemeliharaan aset berdasarkan fungsi yang harus dipenuhi, kegagalan fungsional, mode kegagalan, konsekuensi kegagalan, dan tugas pemeliharaan yang tepat. RCM tidak menganggap semua komponen memiliki tingkat kritikalitas yang sama, sehingga sumber daya pemeliharaan dapat difokuskan pada komponen yang memberikan risiko terbesar [1], [2], [10].

### 2.3 *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

FMEA digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan, penyebab, dan dampaknya serta memberikan prioritas risiko. Tiga parameter yang digunakan adalah *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Nilai RPN dihitung dengan persamaan berikut [5], [6]:

$$RPN = S \times O \times D$$

Semakin besar nilai RPN, semakin tinggi prioritas mode kegagalan untuk dikendalikan. Pada penelitian ini FMEA digunakan sebagai dasar dalam mengidentifikasi mode kegagalan yang perlu mendapat perhatian lebih.

### 2.4 *Logic Tree Analysis* (LTA)

LTA merupakan tahapan analisis RCM untuk mengklasifikasikan konsekuensi kegagalan. Kategori yang digunakan adalah *Safety Problem* (A), *Outage Problem* (B), *Economic Problem* (C), dan *Hidden Failure* (D). Klasifikasi tersebut membantu menentukan apakah tindakan perawatan harus diarahkan pada pencegahan gangguan operasi, pengendalian risiko ekonomi, atau pendeteksian kegagalan tersembunyi [7], [8].

### 2.5 *Task Selection*

*Task Selection* merupakan proses pemilihan tindakan perawatan berdasarkan hasil analisis kegagalan dan konsekuensinya. Tindakan dapat berupa *scheduled maintenance*, *scheduled replacement*, *scheduled inspection*, *condition-based maintenance*, atau tindakan korektif ketika pencegahan tidak memberikan manfaat yang memadai. Pendekatan ini memungkinkan strategi pemeliharaan disesuaikan dengan karakteristik kegagalan, bukan hanya berdasarkan jadwal tetap [2], [8], [10].

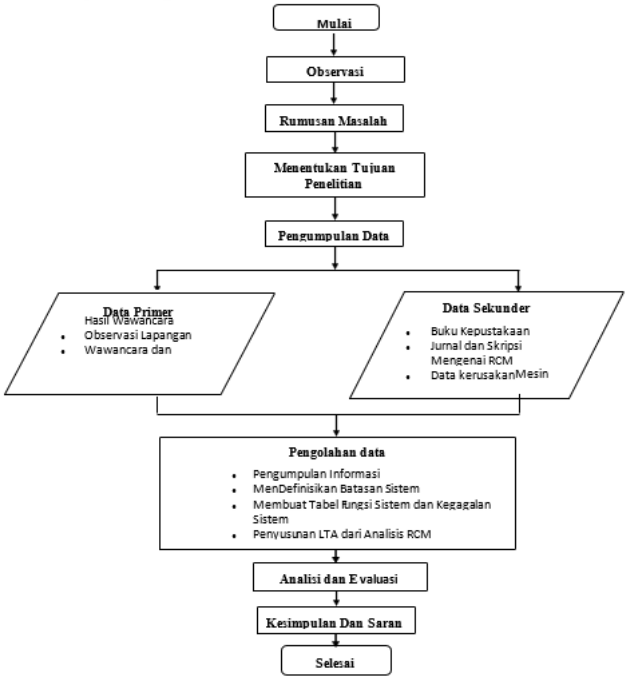
### 2.6 *Charge Air Filter*

*Charge Air Filter* pada penelitian ini merupakan bagian dari sistem udara masuk yang berfungsi menyaring udara sebelum masuk ke *turbocharger* dan ruang bakar. Laporan menunjukkan mode gangguan berupa filter kotor/tersumbat, filter rusak/jebol, serta oli *Charge Air Filter* yang terkontaminasi [3].

## 3. Metode Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis untuk menentukan tindakan pemeliharaan pada mesin Wärtsilä 18V50SG menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM). Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

*ISSN 2338-7122*




**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

*Sumber: Diolah oleh penulis (2026)*

### 3.1 Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT. X mulai dari 02 Februari 2026 sampai 02 maret 2026. Objek penelitian adalah *Charge Air Filter* pada mesin Wärtsilä 18V50SG. Fokus penelitian dibatasi pada penentuan tindakan pemeliharaan berdasarkan data kerusakan dan analisis RCM.

### 3.2 Sumber Data

Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan wawancara dengan operator atau pihak terkait. Data sekunder meliputi data historis pemeliharaan dan kerusakan, *manual book* Wärtsilä, serta referensi ilmiah yang relevan [3]. Periode data kerusakan yang dianalisis adalah Juni–Desember 2025.

### 3.3 Tahapan Pengolahan Data

Tahapan penelitian meliputi: (1) pengumpulan data kerusakan; (2) pengelompokan kerusakan berdasarkan komponen; (3) seleksi komponen kritis menggunakan diagram Pareto; (4) identifikasi fungsi dan kegagalan fungsional; (5) FMEA untuk memperoleh nilai RPN; (6) LTA untuk menentukan kategori konsekuensi; dan (7) *Task Selection* untuk menentukan tindakan perawatan [3], [4].

**Gambar 1. Alur Penelitian**

| Data kerusakan | Seleksi Pareto | Fungsi & kegagalan | FMEA | LTA | Task Selection | Rekomendasi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Juni–Des 2025 | Komponen kritis | Mode kegagalan | S×O×D | Kategori A/B/C/D | Jenis tindakan | *Preventive maintenance* |

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Data Historis Kerusakan

Data historis menunjukkan bahwa gangguan terjadi pada beberapa komponen *Charge Air Filter* selama periode pengamatan. *Filter Element* mengalami differential pressure tinggi, tersumbat, serta robek/jebol. DD Panel mengalami kondisi terlapisi *sludge*, deformasi, dan kotor berat. *Viscosine Oil* mengalami berkurang, terkontaminasi debu, dan kotor [4].

*ISSN 2338-7122*

**Tabel 1. Rekapitulasi Frekuensi Kerusakan**

| No. | Komponen | Frekuensi | Persentase | Kumulatif |
|---|---|---|---|---|
| 1 | *Filter Element* | 7 | 33,33% | 33,33% |
| 2 | DD Panel | 6 | 28,57% | 61,90% |
| 3 | *Viscosine Oil* | 3 | 14,29% | 76,19% |
| 4 | *Motor Rotating* | 2 | 9,52% | 85,71% |
| 5 | *Sludge Tank* | 2 | 9,52% | 95,24% |
| 6 | *Differential Pressure Sensor* | 1 | 4,76% | 100% |
| | **Total** | **21** | **100%** | |

Berdasarkan Tabel 1, tiga komponen dengan frekuensi kerusakan tertinggi adalah Filter Element (7 kejadian), DD Panel (6 kejadian), dan Viscosine Oil (3 kejadian), dengan persentase kumulatif sebesar 76,19%. Ketiga komponen tersebut dianalisis lebih lanjut menggunakan metode RCM. Berdasarkan FMEA, Viscosine Oil terkontaminasi memiliki nilai RPN sebesar 180.

### 4.2 Seleksi Komponen Kritis dengan Pareto

*Filter Element* menjadi komponen dengan frekuensi kerusakan tertinggi, yaitu 7 kejadian, diikuti DD Panel sebanyak 6 kejadian dan *Viscosine Oil* sebanyak 3 kejadian. Ketiga komponen tersebut kemudian menjadi fokus analisis RCM. Penggunaan Pareto pada tahap awal membantu memusatkan analisis pada kelompok kegagalan yang paling dominan [4], [13].

### 4.3 Fungsi dan Kegagalan Fungsional

**Tabel 2. Fungsi dan Mode Kegagalan Komponen Kritis**

| Komponen | Fungsi utama | Mode kegagalan |
|---|---|---|
| *Filter Element* | Menyaring udara sebelum masuk ke sistem pembakaran | Tersumbat (*clogging*); robek/jebol |
| DD Panel | Mendukung proses penyaringan udara | Kotor berat; deformasi |
| *Viscosine Oil* | Membantu proses penangkapan partikel pada sistem filter | Terkontaminasi; berkurang/mengering |

Identifikasi fungsi dan kegagalan fungsional menjadi dasar untuk menentukan dampak dan konsekuensi kegagalan pada tahapan berikutnya. Pendekatan berbasis fungsi merupakan karakteristik utama RCM [1], [10].

### 4.4 Analisis FMEA

Penilaian FMEA menunjukkan bahwa *Filter Element* tersumbat mempunyai RPN tertinggi sebesar 224. Nilai ini berasal dari *severity* 8, *occurrence* 7, dan *detection* 4. DD Panel kotor berat memiliki RPN 210, sedangkan *Filter Element* robek/jebol memiliki RPN 200. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kegagalan *Filter Element* perlu menjadi prioritas pengendalian karena dapat memengaruhi aliran udara dan performa sistem.

**Tabel 3. Hasil FMEA Komponen Kritis**

| No. | Komponen | Failure Mode | S | O | D | RPN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | *Filter Element* | Tersumbat (*Clogging*) | 8 | 7 | 4 | 224 |
| 2 | *Filter Element* | Robek/Jebol | 8 | 5 | 5 | 200 |
| 3 | DD Panel | Kotor berat | 7 | 6 | 5 | 210 |
| 4 | DD Panel | Deformasi | 7 | 4 | 6 | 168 |
| 5 | *Viscosine Oil* | Terkontaminasi | 6 | 5 | 6 | 180 |
| 6 | *Viscosine Oil* | Berkurang/Mengering | 6 | 4 | 6 | 144 |

*ISSN 2338-7122*

Sumber: Pengolahan data penelitian [4].

Hasil ini sejalan dengan penelitian RCM pada berbagai peralatan industri yang menggunakan FMEA untuk menentukan komponen atau mode kegagalan yang menjadi prioritas sebelum menetapkan strategi pemeliharaan [5], [9], [11], [12].

### 4.5 *Logic Tree Analysis*

Berdasarkan LTA, *Filter Element* yang tersumbat dan robek/jebol termasuk *Outage Problem* (B). DD Panel kotor berat dan deformasi juga termasuk *Outage Problem* (B). Sementara itu, *Viscosine Oil* terkontaminasi termasuk *Economic Problem* (C). Kategori tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar kegagalan pada komponen kritis berdampak pada kelancaran operasi, sedangkan kegagalan oli lebih dominan terhadap aspek ekonomi dan efisiensi [4].

**Tabel 4. Hasil Logic Tree Analysis**

| Komponen | Failure Mode | Kategori | Konsekuensi utama |
|---|---|---|---|
| *Filter Element* | Tersumbat | B – *Outage* | Gangguan aliran udara/operasi |
| *Filter Element* | Robek/Jebol | B – *Outage* | Gangguan operasi dan kualitas penyaringan |
| DD Panel | Kotor berat | B – *Outage* | Efektivitas penyaringan menurun |
| DD Panel | Deformasi | B – *Outage* | Aliran udara tidak optimal |
| *Viscosine Oil* | Terkontaminasi | C – *Economic* | Efisiensi dan efektivitas penyaringan menurun |

### 4.6 *Task Selection*

Hasil *Task Selection* menunjukkan bahwa tindakan perawatan harus dibedakan sesuai karakteristik mode kegagalan. *Filter Element* tersumbat ditangani dengan pembersihan terjadwal, sedangkan filter robek/jebol ditangani dengan penggantian terjadwal. DD Panel memerlukan pembersihan dan inspeksi berkala. *Viscosine Oil* memerlukan pemeriksaan kualitas berbasis kondisi serta penggantian atau penambahan sesuai kebutuhan [4]. Pendekatan ini konsisten dengan penelitian yang menunjukkan bahwa RCM dapat menghasilkan kombinasi *scheduled maintenance*, *inspection*, dan *condition-based maintenance* sesuai konsekuensi kegagalan [1], [2], [7], [10].

**Tabel 5. Task Selection dan Usulan Perawatan**

| Komponen | Failure Mode | LTA | Jenis perawatan | Tindakan |
|---|---|---|---|---|
| *Filter Element* | Tersumbat | B | *Scheduled Maintenance* | Pembersihan berkala |
| *Filter Element* | Robek/Jebol | B | *Scheduled Replacement* | Penggantian berdasarkan umur/kondisi |
| DD Panel | Kotor berat | B | *Scheduled Maintenance* | Pembersihan rutin |
| DD Panel | Deformasi | B | *Scheduled Inspection* | Inspeksi fisik berkala |
| *Viscosine Oil* | Terkontaminasi | C | *Condition-Based Maintenance* | Pemeriksaan kualitas oli |
| *Viscosine Oil* | Berkurang/Mengering | C | *Scheduled Maintenance* | Penambahan/penggantian sesuai kondisi |

*ISSN 2338-7122*

### 4.7 Implikasi terhadap *Preventive Maintenance*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *preventive maintenance* pada *Charge Air Filter* perlu diarahkan pada tiga prinsip utama. Pertama, pembersihan dan inspeksi harus dilakukan secara terjadwal untuk mengendalikan penumpukan kotoran dan deformasi. Kedua, penggantian *Filter Element* perlu didasarkan pada kondisi fisik atau umur pakai yang ditetapkan. Ketiga, *Viscosine Oil* perlu dipantau melalui pemeriksaan kondisi sehingga kontaminasi dapat diketahui lebih awal. RCM *modern* menekankan bahwa tugas pemeliharaan sebaiknya dipilih berdasarkan konsekuensi dan karakteristik kegagalan, bukan sekadar menggunakan jadwal yang seragam untuk seluruh komponen [1], [2], [10].

Dalam konteks pembangkit, strategi tersebut penting karena gangguan pada komponen sistem udara masuk berpotensi memengaruhi kontinuitas operasi. Penelitian RCM pada fasilitas energi dan sistem pembangkit juga menunjukkan bahwa pemeliharaan berbasis risiko dan keandalan dapat membantu menyusun rencana pemeliharaan yang lebih terarah terhadap aset kritis [2], [7], [14].

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa *Charge Air Filter* memiliki beberapa mode kegagalan yang perlu dikendalikan melalui pendekatan RCM. Dari data Juni–Desember 2025, *Filter Element*, DD Panel, dan *Viscosine Oil* menjadi komponen yang diprioritaskan. FMEA menghasilkan RPN tertinggi sebesar 224 pada Filter Element tersumbat, 210 pada DD Panel kotor berat, dan 200 pada *Filter Element* robek/jebol. Hasil LTA mengklasifikasikan kegagalan *Filter Element* dan DD Panel sebagai *Outage Problem* (B), sedangkan *Viscosine Oil* terkontaminasi sebagai *Economic Problem* (C). Berdasarkan *Task Selection*, strategi yang direkomendasikan adalah *scheduled maintenance* untuk pembersihan, *scheduled replacement* untuk filter rusak, *scheduled inspection* untuk deformasi, serta *condition-based maintenance* untuk pemeriksaan kualitas *Viscosine Oil*. Penerapan strategi tersebut diharapkan dapat mengurangi potensi gangguan operasional dan menjaga keandalan *Charge Air Filter*.

Keterbatasan penelitian adalah analisis menggunakan data historis kerusakan selama periode Juni–Desember 2025 dan belum memasukkan analisis biaya pemeliharaan maupun optimasi interval secara kuantitatif. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan hasil ini dengan analisis *reliability*, MTBF/MTTR, *interval preventive maintenance*, serta evaluasi biaya.

## Daftar Pustaka

[1] Wang, Y., et al. (2024). Reliability-Centered Preventive Maintenance Optimization for a Single-Component Mechanical Equipment. Symmetry, 16(1), 16. https://doi.org/10.3390/sym16010016.

[2] Silva, R. F. da, Melani, A. H. de A., Michalski, M. A. de C., & Souza, G. F. M. de. (2023). Reliability and Risk Centered Maintenance: A Novel Method for Supporting Maintenance Management. Applied Sciences, 13(19), 10605. https://doi.org/10.3390/app131910605.

[3] Widyaningrum, M., & Winati, F. (2022). Penjadwalan Perawatan Mesin di CV Wijaya Workshop dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM). Jurnal Teknik Industri, Bisnis Digital, dan Teknik Logistik, 1(1), 37–43.

[4] Sulistyo, A. B., & Muhlis, S. (2022). Optimasi Perawatan Mesin Overhead Crane pada PT KNSS dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Jurnal Intent, 5(2), 27–35.

[5] Shin, J.-W., Yoon, K.-H., Chai, H.-S., & Kim, J.-C. (2022). Reliability-Centered Maintenance Scheduling of Photovoltaic Components According to Failure Effects. Energies, 15(7), 2529. https://doi.org/10.3390/en15072529.

[6] Ar-Royyan, D., & Mukhtar, M. N. A. (2023). Perencanaan Preventive Maintenance Line Produksi dengan Metode RCM (Reliability Centered Maintenance) di PT Raya. PROFISIENSI: Jurnal Program Studi Teknik Industri, 11(1).

[7] Balol, W. A., & Sarbini, S. (2023). Aplikasi Metode Reliability Centered Maintenance untuk Preventive Maintenance Machine. SISTEM: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik, 19(1), 1–7. https://doi.org/10.37303/sistem.v19i1.239.

[8] Afris, W. H., Katili, E., & Nurvadillah. (2023). Penentuan Interval Waktu Perawatan Mesin Alat Angkut Crane dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) (Studi Kasus: PT. XYZ). Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI), 10(1), 84–90.

[9] Hardono, J., Hidayat, D. F., & Nugroho, R. (2024). Strategi Perawatan Menggunakan Reliability Centered Maintenance pada Alat Aircraft Washing Truck di PT GMF AeroAsia Tbk. Jurnal Teknik, 13(2).

[10] Margana, A. S., Ayu, W. S., & Khoirunnisaa, E. I. (2024). Analisis Sistem Perawatan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance dengan Bantuan Failure Mode Effect Analysis pada Air Handling Unit G4. Jurnal Mekanik Terapan, 5(1), 16–24. https://doi.org/10.32722/jmt.v5i1.6299.

[11] Kusuma, B. S., Syahputra, M. A., Yanti, R., & Muthawali, D. I. (2024). Design Maintenance System on Mixer Machine to Prevent the Breakdown Using Reliability Centered Maintenance. Journal of Industrial Engineering and Halal Industries, 4(1), 47–54. https://doi.org/10.14421/jiehis.4695.

[12] Cahyati, S., Puspa, S. D., Himawan, R., Agtirey, N. R., & Leo, J. A. (2024). Optimization of Preventive Maintenance on Critical Machines at the Sabiz 1 Plant Using Reliability-Centered Maintenance Method. SINERGI, 28(2). https://doi.org/10.22441/sinergi.2024.2.015.

[13] Yang, X., He, Y., Liao, R., Cai, Y., & Dai, W. (2024). Mission Reliability-Centered Opportunistic Maintenance Approach for Multistate Manufacturing Systems. Reliability Engineering & System Safety, 241, 109693. https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109693.

[14] Introna, V., & Santolamazza, A. (2024). Strategic Maintenance Planning in the Digital Era: A Hybrid Approach Merging Reliability-Centered Maintenance with Digitalization Opportunities. Operations Management Research, 17, 1397–1420. https://doi.org/10.1007/s12063-024-00496-y.

[15] Qurnaini, K., Lamatinulu, & Rauf, N. (2026). Evaluasi Komponen Kritis dan Penentuan Strategi Pemeliharaan Berbasis Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)-Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk Mengurangi Downtime pada Penyulang Cempa. JAPSI: Jurnal Aplikasi dan Pengembangan Sistem Industri. https://doi.org/10.33096/xqhmsf38.