



## PERENCANAAN DAN PENERAPAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* MESIN *SPINDLE* DENGAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) DAN FAILURE MODE AND AFFECTS ANALYSIS DI PT. RAFFA HELICAL BRONZE

### Planning and Implementation of Preventive Maintenance for Spindle Machines Using Reliability Centered Maintenance (RCM) and Failure Mode and Effects Analysis at PT Raffa Helical Bronze

Riyo Setiawan<sup>1</sup>, H.M.Juju Adhiwikarta<sup>2</sup>, dan Dina Rosdiana<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Al-Khairiyah<sup>123</sup>

Email : [Riyosetiawan026@gmail.com](mailto:Riyosetiawan026@gmail.com)<sup>1</sup>

#### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan strategi pemeliharaan preventif menggunakan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada mesin *spindle* di PT. Raffa Helical Bronze, dengan fokus utama pada pengurangan kegagalan komponen spindle. Metode RCM digunakan untuk mengidentifikasi fungsi peralatan utama, modus kegagalan yang mungkin terjadi, serta menyusun strategi pemeliharaan yang efektif. Data dikumpulkan melalui observasi langsung, wawancara teknisi, dokumentasi internal, dan analisis kegagalan historis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spindle merupakan komponen kritis yang paling sering mengalami kerusakan berupa *overheat*, suara kasar, dan getaran tinggi. Melalui penerapan FMEA, diperoleh nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi pada kerusakan *overheat* spindle, yaitu sebesar 280. Dengan penerapan preventif maintenance secara berkala seperti pelumasan bearing, pengecekan pendingin, dan kalibrasi, nilai MTBF meningkat dari 143 jam menjadi  $\pm 250$  jam, dan MTTR turun dari 7 jam menjadi  $\pm 3$  jam. Penerapan RCM terbukti efektif dalam menurunkan frekuensi kegagalan spindle dan meningkatkan efisiensi serta efisiensi mesin *spindle*. Strategi ini dapat menjadi acuan dalam program pemeliharaan berbasis risiko untuk meningkatkan kinerja operasional dan mengurangi *downtime* di lingkungan industri manufaktur.

**Kata Kunci** : Pemeliharaan Preventif, *Reliability Centered Maintenance* (RCM), Mesin *Spindle*, *Spindle*, FMEA, MTBF, MTTR.

#### Abstract

This study aims to design and implement a preventive maintenance strategy using the *Reliability Centered Maintenance* (RCM) approach on spindle machines at PT. Raffa Helical Bronze, with a primary focus on reducing spindle component failures. The RCM method is used to identify key equipment functions, possible failure modes, and develop effective maintenance strategies. Data were collected through direct observation, technician interviews, internal documentation, and historical failure analysis. The results showed that the spindle is the critical component that most often experiences damage in the form of overheating, rough noise, and high vibration. Through the application of FMEA, the highest Risk Priority Number (RPN) value was obtained for spindle overheat damage, which was 280. With the implementation of periodic preventive maintenance such as bearing lubrication, coolant checking, and calibration, the MTBF value increased from 143 hours to  $\pm 250$  hours, and MTTR decreased from 7 hours to  $\pm 3$  hours. The application of RCM has proven effective in reducing the frequency of spindle failures and increasing the efficiency and efficiency of spindle machines. This strategy can be used as a reference in a risk-based maintenance program to improve operational performance and reduce downtime in the manufacturing industry environment.

**Keywords**: Preventive Maintenance, *Reliability Centered Maintenance* (RCM), Spindle Machine, Spindle, FMEA, MTBF, MTTR.

#### PENDAHULUAN

Penerapan *preventive maintenance* pada mesin *spindle* kini semakin berkembang seiring kemajuan teknologi. Strategi ini sangat penting untuk

menjaga performa mesin agar tetap optimal, menekan waktu henti (*downtime*), dan memperpanjang usia operasional mesin. Mesin *spindle* memiliki

kemampuan memotong berbagai material secara presisi dan cepat, namun penggunaan yang intensif membutuhkan perawatan yang terencana agar performanya tetap maksimal.

Menurut Fraser et al. (2015), *preventive maintenance* adalah praktik pemeliharaan yang dilakukan secara berkala untuk mencegah kegagalan peralatan yang tak terduga. Dengan pendekatan ini, risiko kerusakan yang berakibat pada *downtime* dan tingginya biaya perbaikan dapat dikurangi.

PT Raffa Helical Bronze merupakan perusahaan manufaktur yang berfokus pada pembuatan dan perawatan komponen logam, khususnya berbahan dasar perunggu, untuk berbagai industri seperti otomotif, energi, dan manufaktur. Dalam lingkungan industri yang sangat mengandalkan mesin, keandalan peralatan menjadi kunci kelancaran produksi. Kerusakan mendadak pada mesin dapat menimbulkan kerugian besar, termasuk berhentinya proses produksi dan terganggunya rantai pasok. Oleh sebab itu, perusahaan ini menempatkan pemeliharaan preventif sebagai bagian penting dari strategi operasionalnya.

Salah satu komponen penting yang menjadi perhatian utama adalah *spindle* pada mesin *spindle*. Kerusakan pada bagian ini dapat mengganggu stabilitas proses produksi. Maka dari itu, perawatan berkala dan inspeksi rutin diperlukan untuk mengurangi potensi penurunan kualitas produksi, waktu henti yang lama, serta pembengkakan biaya perbaikan.

Perencanaan jadwal *preventive maintenance* yang sistematis diperlukan untuk menjaga kondisi mesin tetap prima. Pendekatan kualitatif seperti *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dapat digunakan untuk menyusun strategi perawatan berdasarkan tingkat risiko dan keutamaan fungsi dari tiap komponen mesin. Metode RCM memungkinkan perusahaan untuk berfokus pada aktivitas pemeliharaan yang paling krusial, sehingga dapat beralih dari sistem

mengidentifikasi, menghasilkan, dan memitigasi potensi kegagalan dalam suatu proses, produk, atau sistem. Langkah aktifitas diurutkan dari awal hingga akhir perbaikan.

Dalam penelitian ini, teknik analisis data menggunakan metode *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) diterapkan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan memitigasi potensi kegagalan pada pemeliharaan mesin *spindle*. FMEA adalah metode analisis risiko yang sistematis untuk memahami mode kegagalan, penyebabnya, dampaknya, serta langkah mitigasi yang diperlukan. Tahapan awal metode ini dimulai dengan mengidentifikasi komponen utama mesin *spindle*, seperti *spindle*, meja kerja, motor

pemeliharaan reaktif menuju sistem yang lebih proaktif dan efisien.

## METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, beberapa jenis metode penelitian akan digunakan untuk menjawab masalah dan mencapai tujuan yang telah dirumuskan. Berikut adalah penjelasan mengenai jenis-jenis metode penelitian yang relevan beserta alasannya:

### 1. Metode Kuantitatif

Kuantitatif adalah pendekatan penelitian berbasis angka yang digunakan untuk mengukur, menganalisis, dan menginterpretasikan data secara objektif. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif karena data yang dianalisis berfokus pada pengolahan data kegagalan menggunakan pendekatan *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA). Metode FMEA adalah pendekatan analisis risiko yang bertujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan memitigasi kegagalan pada sistem, produk, atau proses, dengan menghitung tingkat risiko menggunakan *Risk Priority Number* (RPN).

### 2. Metode *Reability Centered Maintenance* (RCM)

Deskripsi: *Reability Centered Maintenance* (RCM) adalah suatu pendekatan sistematis yang digunakan untuk menentukan strategi pemeliharaan yang paling efektif berdasarkan analisis fungsi dan potensi kegagalan dari suatu sistem atau peralatan. Metode ini dirancang untuk memastikan bahwa sistem dapat beroperasi dengan andal dan efisien, serta untuk meminimalkan risiko kegagalan yang dapat mengganggu operasi.

## TEKNIK ANALISIS DATA

Dalam penelitian ini teknik analisis data menggunakan metode *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA). Tahapan awal metode ini yakni dengan mengidentifikasi kegagalan dalam pemeliharaan mesin *spindle*, *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) adalah metode analisis risiko yang digunakan untuk penggerak, sistem pelumasan, sistem pendingin, dan kontrol elektronik. Setiap komponen dianalisis untuk menentukan mode kegagalan yang mungkin terjadi, seperti aus, kebocoran, atau *overheating*.

Setelah itu, dilakukan identifikasi penyebab utama dari mode kegagalan, misalnya pelumasan buruk, material keras, atau ventilasi buruk. Langkah berikutnya adalah mengevaluasi dampak kegagalan terhadap operasional mesin, kualitas produk, dan keselamatan operator. Kemudian, risiko setiap mode kegagalan dinilai menggunakan tiga parameter utama:

1. *Severity* (S) (tingkat keparahan)
2. *Occurrence* (O) (frekuensi terjadinya)

### 3. *Detection (D)* (kemampuan mendeteksi kegagalan)

Mode kegagalan dengan nilai RPN tertinggi menjadi prioritas utama untuk tindakan mitigasi. Berdasarkan analisis ini, direncanakan tindakan perbaikan seperti pelumasan rutin, penggantian komponen aus secara berkala, dan pemasangan sistem deteksi suhu pada motor. Tindakan ini kemudian diimplementasikan, divalidasi, dan dievaluasi untuk memastikan efektivitasnya dalam mengurangi risiko kegagalan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang dikombinasikan dengan pendekatan FMEA telah memberikan dampak positif terhadap pengurangan frekuensi kerusakan dan peningkatan efisiensi kerja mesin *spindle* di PT Raffa Helical Bronze. Strategi *preventive maintenance* yang disusun melalui identifikasi nilai *Risk Priority Number* (RPN) mampu menetapkan fokus pemeliharaan pada komponen-komponen vital seperti *spindle*. Penerapan strategi ini terbukti efektif dengan adanya peningkatan nilai MTBF serta penurunan nilai MTTR. Dengan demikian, integrasi metode kuantitatif dan kualitatif dalam sistem pemeliharaan menunjukkan keunggulan yang lebih baik dibandingkan pendekatan perawatan reaktif yang digunakan sebelumnya.

Pendekatan ini tidak hanya bertujuan untuk memetakan penyebab kegagalan, namun juga untuk memberikan rekomendasi konkret terhadap aktivitas pemeliharaan yang dapat diterapkan secara sistematis. Sehingga, melalui pembahasan ini dapat dijelaskan keterkaitan langsung antara analisis yang dilakukan dengan solusi atas permasalahan yang dihadapi perusahaan dalam pengelolaan mesin *spindle*. Setelah dilakukan pengumpulan dan pengolahan data pada mesin *spindle* di PT. Raffa Helical Bronze, diperoleh informasi penting yang menjadi dasar analisis RCM (*Reliability Centered Maintenance*). Data-data tersebut meliputi :

- Riwayat kerusakan komponen
- Frekuensi dan jenis kerusakan
- MTBF dan MTTR
- Identifikasi fungsi dan kegagalan fungsi
- Analisis FMEA dan nilai RPN

### Data Kerusakan yang Dianalisis

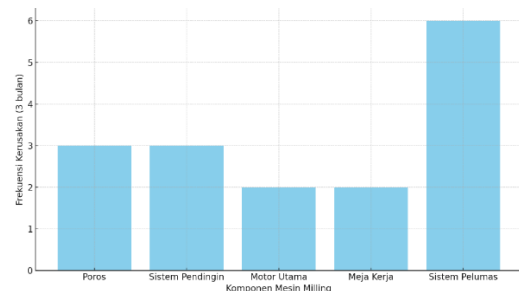
Data kerusakan yang dianalisis merupakan hasil akumulasi selama periode tiga bulan terakhir (Desember 2024 – Februari 2025). Pengumpulan data dilakukan secara sistematis melalui:

- Logbook maintenance*, yang mencatat kejadian kerusakan harian.
- Wawancara teknisi dan operator, untuk mengetahui pola penyebab dan respon terhadap kerusakan.
- Observasi langsung di lapangan, untuk melihat tanda-tanda fisik seperti suara abnormal, getaran, kebocoran, dan kenaikan suhu.

Komponen yang dianalisis meliputi:

- Poros (*Spindle*)
- Sistem Pendingin
- Motor Utama
- Meja Kerja
- Sistem Pelumasan

Untuk memberikan gambaran visual terhadap sebaran kerusakan yang terjadi pada mesin *spindle*, Gambar 1. menyajikan diagram batang frekuensi kerusakan komponen selama tiga bulan terakhir. Diagram ini menunjukkan komponen mana yang paling sering mengalami gangguan, dengan komponen *spindle* tercatat sebagai yang paling dominan mengalami kerusakan. Data ini menjadi dasar dalam analisis prioritas perawatan menggunakan metode FMEA.



**Gambar 1. Diagram Batang Frekuensi Kerusakan Komponen 3 Bulan Terakhir**

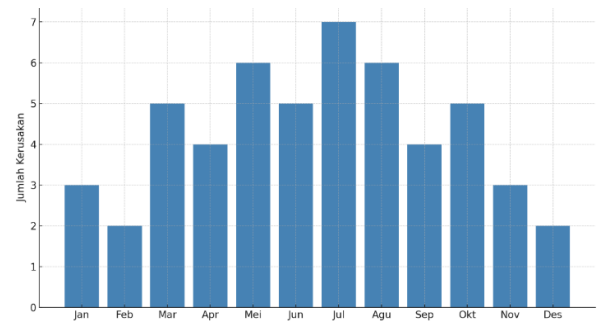
Gambar di atas menunjukkan bahwa sistem pelumasan mengalami frekuensi kerusakan tertinggi yaitu sebanyak 6 kali dalam waktu tiga bulan, diikuti oleh poros (*spindle*) dan sistem pendingin yang masing-masing mengalami 3 kali kerusakan. Sementara itu, motor utama dan meja kerja masing-masing mengalami 2 kali kerusakan.

Penjelasan Gambar :

- Sumbu X (horizontal) menunjukkan lima komponen utama mesin *spindle*: Poros (*Spindle*), Sistem Pendingin, Motor Utama, Meja Kerja, dan Sistem Pelumasan.
- Sumbu Y (vertikal) menunjukkan jumlah frekuensi kerusakan yang terjadi selama tiga bulan pengamatan.
- Tinggi batang merepresentasikan tingkat kerusakan masing-masing komponen dalam jumlah absolut (bukan persentase).

### Analisis Frekuensi Kerusakan Mesin *Spindle* Selama 1 Tahun Terakhir

Untuk memahami tren dan penyebab kerusakan mesin *spindle* di PT Raffa Helical Bronze, dilakukan rekapitulasi data kerusakan selama periode Januari hingga Desember 2024. Data ini direpresentasikan dalam grafik batang yang menunjukkan jumlah kerusakan per bulan. Berikut grafik batang yang menunjukkan frekuensi kerusakan mesin *spindle* per bulan selama 1 tahun terakhir:



**Gambar 2. Grafik frekuensi kerusakan mesin *spindle* selama 1 tahun**

Untuk melihat pola kerusakan mesin *spindle* secara menyeluruh dalam jangka waktu satu tahun, Gambar 2 menampilkan grafik frekuensi kerusakan berdasarkan data historis bulanan. Grafik ini menunjukkan fluktuasi jumlah kerusakan yang terjadi dari bulan Januari hingga Desember, serta mengidentifikasi periode dengan tingkat kerusakan tertinggi. Informasi ini berguna sebagai dasar evaluasi efektivitas pemeliharaan sebelumnya dan menjadi acuan dalam menyusun strategi *preventive maintenance* yang lebih terjadwal dan efisien.

Untuk mengetahui tingkat keandalan mesin *spindle* secara tahunan, dilakukan rekapitulasi data kerusakan selama tahun 2024. Tabel 1 menyajikan rincian jumlah kerusakan tiap bulan beserta jenis komponen yang mengalami gangguan. Dari data tersebut diketahui bahwa komponen *spindle* merupakan komponen dengan tingkat kerusakan tertinggi, yang kemudian menjadi fokus utama dalam strategi pemeliharaan preventif yang diusulkan dalam penelitian ini.

**Tabel 1 Kerusakan Selama Satu Terakhir 2024**

No	Jenis Kerusakan	Total Kasus	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Penyebab Umum
1	Overheat pada <i>spindle</i>	14	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	0	1	Pelumasan bearing kurang, <i>coolant</i> tidak jalan
2	Bunyi kasar ( <i>abnormal sound</i> )	10	1	1	1	1	2	0	0	1	1	1	0	1	Gear longgar, aus, dan kurang pelumasan
3	Getaran tinggi	8	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	Ketidakseimbangan <i>spindle</i> , bantalan aus
4	Gangguan kelistrikan	4	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	Kabel longgar, suhu ruang panel tinggi
5	Baut/kopling aus/meja iring	5	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	Umur komponen, beban berat, jarang pengecekan

- a. Puncak kerusakan terjadi di bulan Maret, Mei, dan Desember (masing-masing 5 kerusakan), menunjukkan kemungkinan puncak beban kerja mesin atau minimnya pemeliharaan saat itu.
- b. Jenis kerusakan paling dominan adalah:
  - *Overheat* pada *spindle* (34%) – perlu pelumasan rutin dan pengecekan sirkulasi *coolant*.
  - Bunyi kasar (24%) – sering menandakan *gear* atau *bearing* aus.
  - Getaran tinggi (19%) – bisa akibat pemasangan yang tidak presisi atau *spindle* tidak *balance*.

Gangguan kelistrikan dan komponen aus masing-masing menyumbang ~10–12%.

Untuk memberikan gambaran lebih jelas mengenai proporsi masing-masing jenis kerusakan yang terjadi selama tahun 2024, maka dilakukan rekapitulasi data historis dalam bentuk persentase. Tabel 1 menyajikan presentase frekuensi kerusakan berdasarkan total kasus yang terjadi dalam satu tahun, sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi komponen mana yang paling dominan mengalami gangguan. Data ini menjadi dasar dalam penentuan prioritas pemeliharaan melalui metode FMEA.

**Tabel 2. Data Historis Presentase**

No	Jenis Kerusakan	Jumlah Kasus	Persentase (%)	Keterangan Penyebab Umum
1	<i>Overheat</i> pada <i>spindle</i>	14	34,1%	Pelumasan kurang, aliran <i>coolant</i> tidak lancar
2	Bunyi kasar dari <i>gearbox/spindle</i>	10	24,4%	<i>Gear</i> aus, <i>bearing</i> longgar, kurang pelumasan
3	Getaran tinggi saat operasi	8	19,5%	Ketidakseimbangan <i>spindle</i> , pemasangan tidak presisi
4	Kearausan <i>belt</i> /kopling/meja tidak rata	5	12,2%	Umur pakai tinggi, beban berlebih, kelalaian inspeksi
5	Gangguan kelistrikan ringan	4	9,8%	Kabel longgar, suhu panel tinggi, tidak ada <i>grounding</i> stabil
	<b>Total</b>	<b>41 kasus</b>	<b>100%</b>	

Berdasarkan data historis, jenis kerusakan yang paling sering terjadi adalah:

- a. *Overheat* pada *spindle bearing* (34,15% dari total kasus),
- b. Bunyi tidak normal dari *gearbox* atau transmisi (24,39%),
- c. Getaran tinggi yang memicu pelepasan baut pengikat (19,51%),
- d. Masalah lain seperti keausan *belt* dan longgar kopling (12,20%).
- e. Korsleting minor pada sistem pendingin (9,76%)

Dari Tabel 3 diketahui bahwa nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi terdapat pada komponen *spindle*, khususnya pada mode kegagalan aus pada bearing, dengan nilai RPN sebesar 280. Nilai ini diperoleh dari hasil penilaian terhadap tiga faktor utama dalam metode FMEA, yaitu *Severity* (S) = 8, *Occurrence* (O) = 7, dan *Detection* (D) = 5. Nilai RPN yang tinggi menunjukkan bahwa kerusakan tersebut memiliki tingkat risiko yang signifikan, baik dari sisi dampak terhadap proses produksi, frekuensi terjadinya, maupun kesulitan dalam mendeteksinya secara dini.

**Tabel 3. nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi**

Komponen	Mode Kegagalan	S	O	D	RPN
<i>Spindle</i>	Aus pada bearing	8	7	5	280
<i>Spindle</i>	Getaran tinggi	7	6	4	168
<i>Spindle</i>	Suara abnormal	6	5	5	150
<i>Spindle</i>	Panas berlebih	9	5	4	180

Tabel diatas hasil analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) yang difokuskan pada komponen *spindle*, yang merupakan bagian penting dalam proses pemesinan pada mesin *spindle*. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi mode kegagalan yang paling sering terjadi, penyebabnya, dan menentukan prioritas penanganannya berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Nilai RPN diperoleh dari hasil perkalian tiga parameter: *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D).

- a. Kegagalan berupa aus pada *bearing spindle* menempati urutan tertinggi dengan nilai RPN sebesar 280. Hal ini disebabkan oleh pelumasan yang tidak optimal, yang menyebabkan keausan komponen secara cepat. Tingkat keparahan dinilai 8, karena jika tidak ditangani dapat menyebabkan

*spindle* macet dan menghentikan proses produksi. Frekuensi kejadiannya cukup tinggi ( $O = 7$ ) dan tingkat deteksi yang sedang ( $D = 5$ ) karena kerusakan biasanya baru terlihat setelah getaran dan suara abnormal muncul.

- b. Mode kegagalan berikutnya adalah getaran tinggi dengan nilai RPN 168, yang disebabkan oleh ketidakseimbangan poros. Keparahan kerusakan ini dinilai 7 karena getaran dapat mempengaruhi presisi hasil kerja. Frekuensi kejadian dinilai sedang ( $O = 6$ ), dan kegagalan ini masih bisa dideteksi dengan pengamatan langsung atau sensor getaran ( $D = 4$ ).
- c. Selanjutnya, suara abnormal muncul akibat pelumasan yang kurang baik atau kesalahan penyelarasan (*alignment*). Mode kegagalan ini memperoleh RPN 150, dengan keparahan 6, karena dapat menandakan kerusakan awal namun belum menyebabkan kegagalan fungsi total. Frekuensi kejadian dan kemampuan deteksi masing-masing dinilai 5.

Terakhir, mode panas berlebih (*overheat*) yang diakibatkan oleh gesekan tinggi atau beban kerja yang berlebih memiliki nilai RPN sebesar 180. Kegagalan ini memiliki tingkat keparahan tertinggi ( $S = 9$ ), karena dapat menyebabkan kerusakan permanen pada *spindle* atau motor penggerak. Namun, frekuensinya sedang ( $O = 5$ ) dan tingkat deteksi masih cukup baik ( $D = 4$ ). Secara keseluruhan, analisis ini menunjukkan bahwa aus pada bearing *spindle* merupakan masalah

### Strategi pemeliharaan yang paling efektif untuk mengurangi risiko kegagalan pada *spindle* mesin *spindle*

Melalui analisis RCM dan FMEA, strategi pemeliharaan yang dianggap paling efektif adalah pelaksanaan pemeliharaan preventif secara berkala dengan pendekatan *condition-based maintenance*. Hasil perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) menunjukkan bahwa kegagalan pada *spindle* memiliki nilai tertinggi sebesar 280 di lihat dari tabel perhitungan RPN Spindel Mesin *Spindle*, menandakan bahwa kerusakan tersebut sangat prioritas untuk ditangani. Oleh karena itu, tindakan preventif seperti pelumasan bearing secara berkala, pengecekan sistem pendingin, dan kalibrasi presisi *spindle* menjadi bagian dari rekomendasi strategi yang dirancang. Strategi ini dirancang untuk mendeteksi gejala kegagalan lebih awal dan mengurangi potensi kerusakan yang lebih parah.

### Dampak penerapan *preventive maintenance* terhadap kinerja dan umur mesin *spindle*

Setelah implementasi strategi pemeliharaan *preventif* yang disusun berdasarkan analisis RCM, terlihat peningkatan signifikan pada kinerja mesin. Nilai

*Mean Time Between Failure* (MTBF) meningkat dari sebelumnya 143 jam menjadi 250 jam, yang menunjukkan peningkatan keandalan sistem. Selain itu, *Mean Time To Repair* (MTTR) mengalami penurunan dari rata-rata 7 jam menjadi sekitar 3 jam, yang berarti proses perbaikan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efisien. Dampak lainnya termasuk penurunan frekuensi kerusakan dan stabilisasi performa operasional mesin, yang secara tidak langsung memperpanjang usia pakai mesin serta menurunkan biaya pemeliharaan secara keseluruhan. Dengan adanya program pemeliharaan yang terjadwal dan terstruktur, produktivitas kerja menjadi lebih stabil dan risiko produksi terhenti dapat diminimalisir.

#### a) Total Waktu Henti

Sebelum penerapan RCM, total *downtime* mesin *spindle* mencapai rata-rata 40 jam/bulan. Penyebab utamanya adalah:

1. Kegagalan motor akibat koil terbakar.
2. Pendinginan tidak optimal karena sumbatan logam di jalur cairan pendingin.
3. *Spindle* terlalu panas karena bearing aus.

#### b) Waktu Rata-rata Antara Kegagalan (MTBF)

Perhitungan rata-rata waktu antar kerusakan ( MTBF ) sebelum penerapan RCM:

$MTBF = \text{Total Jam Operasi} / \text{Jumlah Kegagalan}$

$MTBF = 286 / 6 = 47,7 \text{ jam}$

MTBF Menunjukkan rata-rata waktu oprasi antara kegagalan. dalam kasus ini mesin *spindle* beroperasi selama total 286 jam dan mengalami 6 kali kegagalan sepindel sehingga MTBF adalah 47,7 jam

#### c) Waktu Rata-rata untuk Perbaikan (MTTR)

Waktu rata-rata perbaikan sebelum RCM:

$MTTR = \text{Total Waktu Down Time} / \text{Jumlah Kegagalan}$

Berdasarkan data yang diperoleh, total waktu *downtime* adalah 40 jam dengan jumlah kegagalan sebanyak 6 kali, sehingga nilai MTTR adalah:

$MTTR = 40 / 6 = 6,7 \text{ jam}$

Nilai MTTR sebesar 6,7 jam menunjukkan bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan setiap kali terjadi kegagalan adalah sekitar 6,7 jam. MTTR menunjukkan rata-rata waktu perbaikan kegagalan mesin mengalami *downtime* selama 40 jam akibat 2 kegagalan spindel sehingga waktu rata-rata perbaikan adalah 6,7 jam Dengan perawatan terjadwal, waktu perbaikan dapat ditekan hingga estimasi 3–4 jam , karena teknisi sudah memiliki data panduan kerusakan dan tindakan yang harus diambil .

## KESIMPULAN

Kondisi awal mesin spindle menunjukkan tingkat kerusakan yang tinggi dengan dominasi kegagalan berupa overheat, bunyi kasar, dan getaran berlebih, yang berdampak pada rendahnya keandalan mesin (MTBF 143 jam dan MTTR 7 jam). Penerapan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang dikombinasikan dengan analisis *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) mengidentifikasi overheat pada spindle sebagai mode kegagalan kritis dengan nilai RPN tertinggi sebesar 280. Strategi preventive maintenance yang diterapkan, meliputi pelumasan bearing terjadwal, pemeriksaan sistem pendingin, penyetelan dan alignment spindle, serta kalibrasi suhu dan getaran, terbukti efektif meningkatkan performa mesin. Hasil implementasi menunjukkan peningkatan MTBF menjadi  $\pm 250$  jam, penurunan MTTR menjadi  $\pm 3$  jam, serta pengurangan frekuensi kerusakan lebih dari 40%. Temuan ini menegaskan bahwa preventive maintenance berbasis RCM dan FMEA efektif dalam meningkatkan keandalan mesin, mengurangi downtime, dan memperpanjang umur pakai spindle.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afiva, W. H., Atmaji, F. T. D., & Alhilman, J. (2019). Usulan Interval *Preventive maintenance* dan Estimasi Biaya Pemeliharaan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* dan FMECA. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 18(2), 213–223.
- Agus Setiawan, Hasyrani Windyatri, & Suhendra. (2023). Penerapan *Preventive maintenance* Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (Rcm) Untuk Meminimasi Downtime Mesin Cnc Di Pt Mtat. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 89–94. <https://doi.org/10.52333/destek.v12i2.710>
- Arkan Wibisono, M., Tjahyono, S., Syujak, M., Shomami, A., Studi Teknik Mesin, P., Teknik Mesin, J., Negeri Jakarta, P., & A Siwabessy, J. G. (2023). Schedule *Preventive maintenance* Pada Mesin Injection Molding Sumitomo Di PT.X. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 1, 681–688. <http://prosiding.pnj.ac.id>
- Billy Oktavian, B. O. (2023). Perencanaan Dan Penerapan *Preventive maintenance* Mesin Cnc Spindle Fz 2000. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 4(02), 15–25. <https://doi.org/10.35970/accurate.v4i02.2355>
- Cipta, P. (2021). Dasar Ilmu Manajemen. In *Journal of Management History*. Unpad press. <https://doi.org/10.1108/13552529510082831%0D>
- Fraser, K., Hvolby, H. H., & Tseng, T. L. B. (2015). Reliability paper Maintenance management models: A study of the published literature to identify empirical evidence a greater practical focus is needed. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 32(6), 635–664. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2013-0185>
- Fu'ad, A. H., & Huda, M. (2024). Analisis Efektivitas Mesin Filling Serac R24T24/720 Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Dan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Di PT. Cisarua Mountain Dairy, Tbk. *Al-Faqih: Jurnal Ilmu Sosial, Humaniora, Teknik*, 1(1), 117–136.
- Handoyo, Y., Surahto, A., & Wibowo, B. T. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Putar *Spindle* Dan Variasi Pendingin Terhadap Kekasaran Permukaan Baja S45C Pada Proses Cnc *Spindle* Doosan Dnm 500. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 10(2), 85–88. <https://doi.org/10.33558/jitm.v10i2.4549>
- Hidayat, A. R. (2023). Analisa waktu optimasi perawatan mesin CNC *spindle* dengan pendekatan value stream mapping serta perbaikan dengan failur mode and effect analysis pada mesin CNC *spindle*. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(3), 345–354.
- Islam, S. S., Lestari, T., Fitriani, A., & Wardani, D. A. (2020). Analisis *preventive maintenance* pada mesin produksi dengan metode fuzzy FMEA. *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, 8(1), 13–20.
- Knitr, P., Hamidah, S. N., Salam, N., Susanti, D. S., & Holt-Winters, M. M. P. E. (n.d.). Anwar, S.(2017). Peramalan Suhu Udara Jangka Pendek di Kota Banda Aceh dengan Metode Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA). *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology*, 5 (1), 6–12. Assauri, S.(2008). Manajemen Produksi dan Operasi edisi revisi. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia. *Informatika*, 5(1), 1–5.
- Kusnadi, K., & Taryana, T. (2016). Usulan Waktu Penggantian Optimum Komponen Mesin Gas Engine (Prechamber Gas Valve) Dengan Model Age-Based Replacement Di Pt. Xyz. *Jurnal Teknologi*, 8(1), 45–52.
- Lumbantoruan, I. S. (2021). Pengukuran Tingkat Efektivitas Mesin *Spindle* di PT Nok Freudenberg Batam. *Computer and Science Industrial Engineering (COMASIE)*, 4(6), 52–61.
- Manzini, R., Regattieri, A., Pham, H., & Ferrari, E. (2010). Maintenance information system and failure rate prediction. *Springer Series in Reliability Engineering*, 25, 189–217. [https://doi.org/10.1007/978-1-84882-575-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-575-8_7)
- Nurinda, K., Masdani, M., & Pristiansyah, P. (2022). REKONDISI DAN PEMBUATAN SOP PERAWATAN MESIN FRAIS LAGUN SERI 17. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi*

- Terapan*, 2(02), 201–209.
- Purwanggono, B., & Ibana, J. R. (2021). Implementation of *Preventive maintenance* on CNC Spindle Tape Drill Machine at PT XYZ Using FMEA Method and Age Replacement. *Proceedings of the Second Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Surakarta, Indonesia*.
- Rakes, D., Arif, M., Setiawan, A., Nasution, K. P., & Prastyo, Y. (2024). *Preventive maintenance* on CNC Machines Using the OEE Method to Reduce Downtime at PT. MTAT. *Jurnal Impresi Indonesia*, 3(7), 481–490. <https://doi.org/10.58344/jii.v3i7.5116>
- Ramadhan, M. A. Z., & Sukmono, T. (2018). Penentuan Interval Waktu *Preventive maintenance* Pada Nail Making Machine Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II. In *PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)* (Vol. 2, Issue 2, pp. 49–57). *Prozima*. <https://doi.org/10.21070/prozima.v2i2.1349>
- Rasyid, A., Mokodompit, A., & Aprilia, N. I. (2020). PERENCANAAN PEMELIHARAAN MESIN FIRST PRESS EXPPELLER P03 DENGAN MENGGUNAKAN METODE RCM di PT. MULTI NABATI SULAWESI. *Jurnal Ekonomi, Sosial & Humaniora*, 2(05), 104–110. <https://jurnalintelektiva.com/index.php/jurnal/article/view/392>
- Sajaradj, Z., Huda, L. N., & Sinulingga, S. (2019). The Application of *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Methods to Design Maintenance System in Manufacturing (Journal Review). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 505(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012058>
- Samudera, S. P., & Abdulrahim, M. (2024). Penjadwalan Perawatan Komponen Kritis Mesin Tube Mill Pembuat Pipa Baja (Studi Kasus: CV. Perjuangan Steel Surabaya). *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(3), 16112–16130.
- 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>
- Sukmawati, S., Rini, A. S., & Saputra, P. C. A. (2024). ANALISIS PERAWATAN SISTEM COAL PULVERIZER MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) DI PLTU BANTEN 1 SURALAYA 8. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 4(2), 415–428.
- Ulum, R. B., Firmansyah, H., & Ramdhani, R. F. (2023). *Reliability Centered Maintenance* (Rcm) Dalam Menganalisis Pada Precision Air Conditioning (Pac) Di PT XYZ. *Jurnal Teknologika*, 13(1), 1–8.
- Wibowo, T. J., & Sandriyana, A. N. (2023). Perencanaan pemeliharaan mesin dengan metode *Reliability Centered Maintenance* di PT X. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 1–6. <http://jurnal.ftumj.ac.id/index.php/semnastek%0AISSN>
- Yusuf, Y., Djamal, N., & Cahyadi, D. (2024). TEKNIKA: JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI Forming machine maintenance planning using the *Reliability Centered Maintenance* (RCM) method at PT. KHI pipe industries A R T I C L E I N F O. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 20(1), 105–110. <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/ju-tek/http://dx.doi.org/10.62870/tjst.v20i1.24215>