



Analisis dan Perancangan Strategi *Preventive Maintenance* Berbasis *Failure Mode and Effect Analysis* untuk Mengurangi Risiko Downtime Mesin Chiller (Studi Kasus di PT. X)

Yohanes Bagoes Prasetyo¹⁾, Justin Tobias Jedidiah²⁾, Dwita Suastiyanti³⁾

1,2,3) Program Studi Teknik Industri Institut Teknologi Indonesia

E-mail : yohanes.bagoes@iti.ac.id¹⁾, tobiasjustin@iti.ac.id²⁾, dwita_suastiyanti@iti.ac.id³⁾

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan di PT. X, divisi *Property*, dengan fokus utama pada analisis risiko kegagalan Mesin *Chiller*, yang merupakan aset mekanikal dan elektrikal krusial untuk operasional gedung. Tingginya frekuensi dan durasi *Downtime* mesin ini berdampak negatif pada kelancaran operasional, peningkatan biaya perbaikan darurat, serta kerugian produktivitas yang signifikan. Untuk mengatasi masalah ini, strategi *Preventive Maintenance* (PM) diusulkan sebagai solusi proaktif untuk meningkatkan keandalan mesin dan meminimalkan kegagalan tak terencana. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif deskriptif, memanfaatkan observasi, wawancara teknisi, dan analisis data historis *Downtime* selama enam bulan (Januari-Juni 2025). Analisis historis menunjukkan bahwa Kompresor dan Kondensor menyumbang 66% dari total durasi *Downtime*. Selanjutnya, diterapkan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk memprioritaskan potensi kerusakan berdasarkan tingkat Keparahan (*Severity*), Frekuensi Kejadian (*Occurrence*), dan Kemudahan Deteksi (*Detection*), yang disajikan melalui nilai *Risk Priority Number* (RPN). Hasil FMEA mengidentifikasi mode kegagalan paling kritis yang harus diprioritaskan adalah 'Bearing Pompa Aus' dengan nilai RPN tertinggi 240, didorong oleh *Occurrence* tinggi dan *Detection* yang rendah. Penelitian ini berkontribusi dengan merekomendasikan strategi PM terstruktur yang berfokus pada reduksi RPN, termasuk implementasi *Condition Monitoring* (analisis vibrasi bulanan) untuk komponen Pompa Air Pendingin dan Kompresor, guna menjamin efisiensi operasional dan keberlanjutan Mesin *Chiller* di PT. X.

Kata Kunci: *Preventive Maintenance*, *Downtime*, Mesin *Chiller*, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Risk Priority Number* (RPN).

ABSTRACT

This research was conducted at PT. X, Property division, with the main focus on the analysis of the risk of Chiller Machine failure, which is a crucial mechanical and electrical asset for building operations. The high frequency and duration of this machine's downtime negatively impacts operational smoothness, increases emergency repair costs, and causes significant productivity losses. To address this problem, a Preventive Maintenance (PM) strategy is proposed as a proactive solution to improve machine reliability and minimize unplanned failures. The research method used is a descriptive quantitative approach, utilizing observations, technician interviews, and analysis of historical Downtime data for six months (January-June 2025). Historical analysis shows that Compressors and Condensers account for 66% of the total Downtime duration. Furthermore, the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method is applied to prioritize potential damage based on Severity, Frequency of Occurrence, and Ease of Detection, which is presented through the Risk Priority Number (RPN) value. The FMEA results identified the most critical failure mode that should be prioritized is 'Pump Bearing Worn' with the highest RPN value of 240, driven by high Occurrence and low Detection. This study contributes by recommending a structured PM strategy that focuses on RPN reduction, including the implementation of Condition Monitoring (monthly vibration analysis) for the Cooling Water Pump and Compressor components, to ensure operational efficiency and sustainability of the Chiller Machine at PT. X.

Keywords: *Preventive Maintenance*, *Downtime*, Chiller Machine, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Risk Priority Number* (RPN).

1. PENDAHULUAN

Efisiensi operasional merupakan elemen krusial dalam mendukung keberlanjutan bisnis perusahaan, khususnya di sektor properti yang sangat mengandalkan ketersediaan fasilitas penunjang. Dalam konteks PT. X, divisi Property, mesin mekanikal dan elektrik (M/E) memiliki peran vital untuk menjamin kelancaran seluruh aktivitas harian gedung, di mana Mesin Chiller adalah aset utama yang ketersediaannya harus dipastikan. Namun, permasalahan utama yang kerap muncul adalah tingginya frekuensi dan durasi *Downtime* mesin, yaitu waktu henti mesin akibat kerusakan. Gangguan ini tidak hanya berdampak pada terhambatnya aktivitas operasional, tetapi juga menyebabkan peningkatan biaya perbaikan darurat dan risiko kerugian produktivitas yang signifikan [2]. Oleh karena itu, penanganan *Downtime* menjadi tolak ukur perusahaan industri untuk bisa bersaing dan meningkatkan efisiensi proses produksi [1].

Menanggapi tantangan tersebut, strategi *Preventive Maintenance* (PM) atau Perawatan Pencegahan dianggap sebagai solusi yang paling tepat. PM adalah suatu sistem perawatan yang terjadwal yang didesain untuk meningkatkan keandalan mesin serta mengantisipasi kegiatan perawatan yang tidak direncanakan sebelumnya [5]. Berbeda dengan perbaikan yang bersifat reaktif (*Corrective Maintenance*), PM menekankan pada tindakan pencegahan yang proaktif guna menjaga kondisi mesin agar tetap optimal dan meminimalkan potensi kegagalan mendadak [3].

Untuk merumuskan strategi PM yang tepat sasaran, penelitian ini akan menerapkan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). FMEA digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan dan membuat mitigasi risiko berdasarkan peringkat kerusakan [4]. Metode ini memungkinkan identifikasi komponen mesin yang sering mengalami kerusakan dan jenis kerusakannya [4], serta memprioritaskan potensi kegagalan berdasarkan tiga parameter kritis: tingkat keparahan (*Severity*), frekuensi kejadian (*Occurrence*), dan kemudahan deteksi (*Detection*), guna menghitung nilai Risk Priority Number (RPN) [6].

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengidentifikasi secara detail kondisi aktual mesin Chiller, menganalisis akar penyebab utama dari *Downtime* yang terjadi, dan merumuskan strategi perawatan preventif yang terstruktur dan meminimalkan terhentinya fungsi mesin. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata berupa rekomendasi strategi PM yang efektif, terstruktur, dan berkelanjutan, yang pada akhirnya akan mampu mengurangi *Downtime* mesin Chiller di PT. X. Menanggapi tantangan tersebut, strategi **Preventive Maintenance (PM)** atau Perawatan Pencegahan dianggap sebagai solusi yang paling tepat. Berbeda dengan perbaikan yang bersifat reaktif (*Corrective Maintenance*), PM menekankan pada tindakan pencegahan yang proaktif, meliputi inspeksi, perawatan rutin, serta penggantian komponen sesuai jadwal sebelum terjadi kerusakan yang lebih fatal. PM bertujuan untuk menjaga kondisi mesin agar tetap optimal, meminimalkan potensi kegagalan mendadak, serta meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Perawatan (Maintenance)

Maintenance (pemeliharaan) adalah kegiatan terencana yang bertujuan untuk memantau dan menjaga aset serta fasilitas perusahaan agar operasionalnya tetap berjalan optimal [7]. Aktivitas maintenance mencakup inspeksi rutin, perbaikan, dan penggantian komponen yang diperlukan [7]. Tujuan utama dari maintenance adalah untuk memperpanjang usia kegunaan aset, menjamin ketersediaan peralatan, mengurangi risiko kerusakan, dan secara keseluruhan menghemat biaya yang diakibatkan oleh kegagalan mendadak [7]. Klasifikasi maintenance secara umum dibagi menjadi dua jenis utama: [3]

1. Breakdown/Reactive Maintenance: Perawatan yang dilakukan setelah mesin mengalami kerusakan. Jenis perawatan ini cenderung menyebabkan *Downtime* yang panjang dan biaya perbaikan yang tinggi, sehingga perlu diminimalisir [3].

2. *Preventive Maintenance* (PM): Perawatan yang dilakukan secara proaktif dan terjadwal sebelum kerusakan terjadi [3].

2.2 Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance* / PM)

Preventive Maintenance (PM) adalah strategi perawatan yang bersifat proaktif, dilakukan secara berkala dan terencana untuk mencegah terjadinya kerusakan atau kegagalan pada mesin [3]. Berbeda dengan perawatan reaktif, PM berfokus pada tindakan pencegahan agar keandalan sistem tetap terjaga dan risiko *Downtime* dapat dikurangi secara signifikan [3]. Untuk mengukur keberhasilan dan efektivitas program PM, digunakan beberapa parameter kinerja utama [3], [11]:

1. *Downtime*: Waktu henti mesin yang tidak terencana akibat kerusakan. Tujuan utama PM adalah meminimalkan durasi dan frekuensi *Downtime*.
2. Mean Time Between Failures (MTBF): Nilai rata-rata waktu operasi alat di antara dua kegagalan. Nilai MTBF yang tinggi menunjukkan tingkat keandalan (reliability) yang baik dari peralatan [3], [11].
3. Mean Time To Repair (MTTR): Waktu rata-rata yang dibutuhkan tim teknisi untuk memperbaiki peralatan yang rusak hingga kembali beroperasi normal. Nilai MTTR yang rendah mencerminkan efisiensi tim perawatan [3].

2.3 Mesin Chiller dan Komponen Kritis

Mesin Chiller adalah sistem pendingin yang memiliki peran vital dalam menyediakan pasokan air dingin untuk sistem tata udara (HVAC) suatu gedung atau proses industri [4]. Prinsip kerjanya didasarkan pada siklus refrigerasi tertutup yang melibatkan empat proses termodinamika utama: kompresi, kondensasi, ekspansi, dan evaporasi [4].

Komponen-komponen pada mesin Chiller yang termasuk dalam kategori kritis karena dampak keagalannya yang tinggi terhadap

operasional adalah Kompresor (berfungsi memompa refrigeran), Kondensor (membuang panas), Evaporator (menyerap panas), dan Pompa Sirkulasi [4], [10]. Berdasarkan data historis dan penelitian, potensi kegagalan yang sering terjadi pada komponen kritis ini meliputi overheating pada kompresor, kerusakan bearing pada pompa, serta kebocoran refrigeran pada jalur pipa [10].

2.4 Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah metode sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan suatu sistem, proses, atau produk, serta menganalisis efek atau dampak yang mungkin timbul dari kegagalan tersebut [5], [9]. FMEA merupakan alat yang efektif untuk menganalisis risiko dan memprioritaskan tindakan pencegahan. Pelaksanaan FMEA melibatkan serangkaian tahapan [9]:

1. Identifikasi mode kegagalan, efeknya, dan penyebabnya.
2. Penilaian risiko menggunakan tiga parameter kunci, yang dinilai pada skala 1 hingga 10:
 - *Severity* (S): Tingkat keparahan atau dampak kegagalan [5].
 - *Occurrence* (O): Frekuensi atau kemungkinan terjadinya kegagalan [5].
 - *Detection* (D): Kemudahan deteksi kegagalan oleh kontrol yang sudah ada [5].
3. Perhitungan Risk Priority Number (RPN). RPN adalah hasil kuantifikasi risiko mode kegagalan yang dihitung dengan rumus: [6]

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

Mode kegagalan yang menghasilkan nilai RPN tertinggi menjadi prioritas utama yang harus segera ditindaklanjuti dengan strategi *Preventive Maintenance* yang terfokus [5], [6].

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif deskriptif. Pendekatan ini relevan karena penelitian bertujuan untuk menganalisis data nyata dari lapangan, yaitu data historis *Downtime* Mesin Chiller, serta memberikan gambaran deskriptif mengenai kondisi aktual mesin dan kegagalan yang terjadi. Analisis data berdasarkan konsep manajemen perawatan bertujuan untuk merumuskan strategi *Preventive Maintenance* (PM) yang efektif dan terstruktur. Lokasi penelitian adalah PT. X, divisi Property, dengan objek utama penelitian adalah Mesin Chiller yang digunakan untuk mendukung operasional gedung.

3.2 Sumber dan Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diklasifikasikan menjadi dua jenis :

1. Data Sekunder : Diperoleh dari arsip dan laporan internal perusahaan mengenai *Downtime* mesin. Data ini meliputi catatan waktu henti mesin, durasi *Downtime*, frekuensi kejadian, jenis kerusakan, dan komponen yang rusak pada Mesin Chiller. Data sekunder juga mencakup laporan perbaikan, biaya, dan spesifikasi teknis Mesin Chiller [7].
2. Data Primer : Diperoleh langsung dari lapangan melalui observasi langsung dan wawancara dengan teknisi. Data primer ini sangat krusial untuk mendapatkan penilaian ahli, yang akan digunakan sebagai dasar penentuan skor *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) dalam analisis FMEA [5], [6].

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui tahapan yang sistematis :

1. Studi Pendahuluan : Meliputi observasi awal di PT. X dan studi literatur untuk mengidentifikasi masalah utama, yaitu

terjadinya *Downtime* mesin yang berdampak pada gangguan aktivitas operasional.

2. Pengumpulan Data : Melakukan pengumpulan data historis *Downtime* mesin (sekunder) dan wawancara dengan teknisi untuk mendapatkan data penilaian FMEA (primer).
3. Pengolahan dan Analisis Data : Melakukan analisis kuantitatif terhadap data *Downtime* dan menerapkan metode FMEA.
4. Perumusan Strategi dan Kesimpulan : Merumuskan rekomendasi strategi *Preventive Maintenance* yang terstruktur berdasarkan prioritas risiko dari FMEA, serta menyusun kesimpulan akhir penelitian.

3.4 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan melalui langkah-langkah kuantitatif sebagai berikut :

- a. Analisis Data Historis *Downtime* : Data *Downtime* diklasifikasikan berdasarkan jenis kerusakan, durasi, dan frekuensi kejadian. Analisis ini digunakan untuk menentukan interval perawatan yang optimal dan mengidentifikasi mode kegagalan yang paling dominan melalui Analisis Pareto [12].
- b. Penerapan Metode FMEA : Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) diterapkan untuk memprioritaskan potensi kerusakan.
 - Penilaian Risiko : Setiap mode kegagalan Mesin Chiller dinilai berdasarkan parameter *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), dengan skala 1 sampai 10.
 - Perhitungan RPN : Nilai Risk Priority Number (RPN) dihitung untuk setiap mode kegagalan menggunakan rumus :
$$RPN = S \times O \times D$$
- c. Penentuan Prioritas Tindakan: Mode kegagalan diurutkan berdasarkan nilai RPN tertinggi. Nilai RPN tertinggi menunjukkan mode kegagalan yang paling kritis dan harus

menjadi fokus utama dalam perumusan rekomendasi tindakan *Preventive Maintenance* yang tepat sasaran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mesin Chiller di PT. X merupakan aset kritikal yang beroperasi 24 jam sehari untuk menjaga kenyamanan termal gedung. Ketersediaan Mesin Chiller sangat mempengaruhi kelancaran operasional divisi Property.



Gambar 1. Mesin *Chiller* Pada PT. X.

Analisis dilakukan terhadap data historis *downtime* selama periode 6 bulan (Januari hingga Juni 2025).

Tabel 1. Data Historis *Downtime* Mesin Chiller PT. X.

No.	Tanggal Kejadian	Komponen Rusak	Jenis Kerusakan	Durasi Downtime (Jam)	Frekuensi (Dalam 6 Bulan)	Biaya Perbaikan (Rp)
1	1/10/2025	Kompresor (A) & (B)	Overheating karena oil level rendah & Kerusakan elektrik	16	5	35,000,000
2	2/25/2025	Pompa Air Pendingin	Bearing aus (bunyi bising)	2	5	2,500,000
3	3/1/2025	Kondensor	Pipa bocor (kebocoran refrigeran)	12	1	35,000,000
4	4/15/2025	Panel Kontrol	Sensor tekanan error	1.5	6	1,000,000
5	5/20/2025	Katup Ekspansi	Macet/tersumbat	3	4	5,000,000
6	6/5/2025	Evaporator	Penumpukan kerak (fouling)	5	2	8,000,000

4.1 Analisis Data Historis *Downtime*

Berdasarkan **Tabel 1**. Didapatkan ringkasan total *Downtime* dan frekuensi kegagalan pada Mesin Chiller.

Tabel 2. Klasifikasi Kerusakan & Parameter Kinerja.

Komponen Rusak	Durasi <i>Downtime</i> (Jam)	Frekuensi (6 Bulan)	Rata-Rata Durasi (<i>Downtime</i>)	Total Biaya Perbaikan (Rp)
Kompresor (A & B)	16	5	3.2	35,000,000
Pompa Air Pendingin	2	5	0.4	2,500,000
Kondensor	12	1	12	35,000,000
Panel Kontrol/Sensor	1.5	6	0.25	1,000,000
Katup Ekspansi	3	4	0.75	5,000,000
Evaporator	5	2	2.5	8,000,000
TOTAL	39.5	23	19.1	86,500,000

Komponen rusak pada kondensor, meskipun memiliki frekuensi yang relatif rendah (1 kali), memiliki durasi *downtime* terlama (12 jam) dan biaya perbaikan yang sangat tinggi, menunjukkan kerusakan ini bersifat kritis.

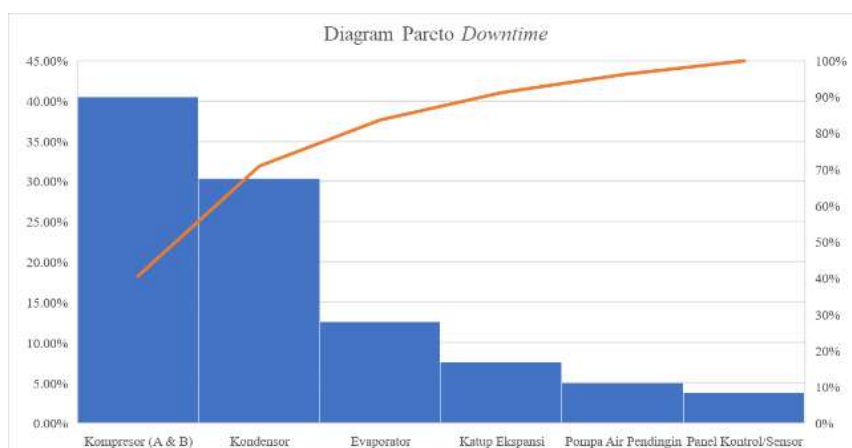
Kegagalan pada Panel Kontrol/Sensor memiliki frekuensi tertinggi (6 kali), meskipun durasi *Downtime* per kejadiannya pendek (0.25 jam). Ini menunjukkan masalah ini bersifat kronis dan membutuhkan inspeksi rutin yang lebih sering.

4.2 Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Analisis Pareto dilakukan dengan mengurutkan jenis kerusakan berdasarkan total Durasi *Downtime*.

Tabel 3. Perhitungan Persentase *Downtime*.

Komponen Rusak	Durasi <i>Downtime</i> (Jam)	Persentase (%)	Persentase Kumulatif (%)
Kompresor (A & B)	16	40.51%	40.51%
Kondensor	12	30.38%	70.89%
Evaporator	5	12.66%	83.54%
Katup Ekspansi	3	7.59%	91.14%
Pompa Air Pendingin	2	5.06%	96.20%
Panel Kontrol/Sensor	1.5	3.80%	100.00%
TOTAL	39.5		


Gambar 2. Diagram Pareto *Downtime*

Hasil Analisis Pareto menunjukkan bahwa sekitar 66% dari total jam *Downtime* (39.5 jam)

disebabkan oleh Kompresor dan Kondensor (28 jam).

Hal ini mengindikasikan bahwa upaya *Preventive Maintenance* harus difokuskan pada komponen ini untuk mendapatkan dampak

terbesar dalam pengurangan total *Downtime* (sesuai prinsip 80/20).

4.3 Perancangan Strategi *Preventive Maintenance* Berbasis FMEA

Analisis FMEA bertujuan untuk mengukur risiko kegagalan Mesin *Chiller* berdasarkan parameter S, O, dan D, yang penilaiannya diperoleh dari wawancara *engineering* (data primer).

Tabel 4. Penilaian Risiko & Perhitungan RPN (*Risk Priority Number*).

Potensi Kegagalan (<i>Failure Mode</i>)	S (<i>Severity</i>)	O (<i>Occurrence</i>)	D (<i>Detection</i>)	RPN (S x O x D)	Peringkat Prioritas
Overheating Kompresor	10	7	3	210	3
Bearing Pompa Aus	8	6	5	240	1
Kebocoran Refrigeran Pipa	9	4	6	216	2
Sensor Kontrol Error	7	8	4	224	4
Penumpukan Kerak Evaporator	6	5	2	60	5

Moda kegagalan dengan RPN tertinggi adalah "Bearing Pompa Aus" (RPN 240). Nilai ini tinggi karena kombinasi dari tingkat *Occurrence* (6, sering terjadi) dan tingkat *Detection* (5, cukup sulit dideteksi sebelum berbunyi bising), meskipun *Severity*-nya (8) tidak setinggi kegagalan kompresor. Ini harus menjadi fokus utama PM. "Kebocoran Refrigeran Pipa" (RPN 216) menempati peringkat kedua, didorong oleh *Severity* yang tinggi (9) karena dampak lingkungan dan kerugian operasional.

Meskipun Analisis Pareto menyoroti durasi *Downtime* Kondensor/Kompresor, FMEA menunjukkan bahwa risiko kegagalan harian tertinggi (RPN 240) ada pada komponen Pompa Air Pendingin (Bearing Aus), karena kegagalan ini sering terjadi dan sulit diprediksi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan memprioritaskan risiko kegagalan Mesin *Chiller* di PT. X menggunakan pendekatan kuantitatif. Berdasarkan analisis data historis, ditemukan bahwa total durasi *Downtime* Mesin *Chiller* selama periode observasi mencapai 39.5 jam,

dengan rata-rata *Downtime* per insiden sebesar 5.64 jam. Analisis Pareto lebih lanjut mengindikasikan bahwa Kondensor, Kompresor A, Kompresor B, dan Evaporator merupakan failure mode yang paling kritis, menyumbang lebih dari 83% dari total waktu henti. Melalui penerapan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), mode kegagalan paling kritis yang harus diprioritaskan untuk tindakan pencegahan adalah "Bearing Pompa Aus" dengan nilai RPN 240, didorong oleh frekuensi kejadian (*Occurrence*) yang tinggi dan tantangan dalam pendeteksian dini. Oleh karena itu, strategi *Preventive Maintenance* harus difokuskan untuk menekan risiko pada mode kegagalan dengan RPN tertinggi tersebut.

Sebagai tindak lanjut dari temuan ini, PT. X disarankan untuk merevisi prosedur *Preventive Maintenance* dengan mengintegrasikan aktivitas yang bertujuan menekan nilai RPN kritis. Rekomendasi utama adalah implementasi inspeksi berbasis kondisi (*Condition Monitoring*), seperti analisis vibrasi bulanan, untuk memantau kondisi bearing Pompa Air Pendingin dan Kompresor secara proaktif, sehingga mampu mengurangi nilai *Occurrence*

dan meningkatkan nilai *Detection* secara signifikan. Selain itu, prosedur PM rutin harus ditingkatkan frekuensinya, terutama pada pengujian kebocoran refrigeran dan kalibrasi sensor Panel Kontrol yang memiliki potensi RPN tinggi. Perusahaan juga disarankan untuk melakukan re-assessment FMEA (Re-RPN) setelah rekomendasi PM diimplementasikan guna memastikan efektivitas tindakan pencegahan dan mendukung program peningkatan keandalan Mesin Chiller secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. R. Ahdiyat & N. Nugroho, "Analisis Perbaikan *Downtime* Mesin Injection Molding dengan Pendekatan DMAIC di PT XYZ," Jurnal Jupiter, vol. 2, no. 1, hlm. 25-34, 2024.
- [2] A. Rahmawan, T. N. Ma'rifat, & A. B. F. Azka, "Efisiensi Proses Produksi Melalui Analisis *Downtime* Pada Proses Packaging (Studi Kasus: Cargill Indonesia Plant)," Agroindustrial Technology Journal, vol. 4, no. 2, hlm. 157, 2021.
- [3] Alfionita, S., dan F. I. Alifin. "*Preventive Maintenance* Analysis Based on Mean Time Between Failure (MTBF) and Mean Time to Repair (MTTR)," Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi, vol. 4, no. 2, hlm. 197-206, 2023.
- [4] Madyantoro, B. M., M. Y. D. Hanggoro, dan M. S. W. Pratomo. "Penerapan Metode FMEA dalam Perawatan Mesin Pendingin Kapal Penangkap Ikan (Studi Kasus)," Aurelia Journal, vol. 4, no. 1, hlm. 97-106, 2022.
- [5] Nafiuddin, M. R., dan M. N. A. Mukhtar. "Penerapan Metode FMEA dan RCM untuk Penjadwalan *Preventive Maintenance* Mesin CNC Laser Cutting," JUMANTARA: Jurnal Manajemen dan Teknologi Rekayasa, vol. 4, no. 2, 2025.
- [6] Zulfahmi, dan A. Saputra. "Analisis Risiko Kerusakan Mesin (*Downtime*) Ripple Mill Stasiun Kernel (Studi Kasus PT. Ujong Neubok Dalam)," SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, vol. 19, no. 2, 2022.
- [7] Ahdiyat, A. R. R., dan N. Nugroho. "Analisis Perbaikan *Downtime* Mesin Injection Molding dengan Pendekatan DMAIC di PT XYZ," JUPITER, vol. 2, no. 1, hlm. 25-34, 2024.
- [8] Islam, S. S., "Analisis *Preventive Maintenance* Pada Mesin Produksi dengan Metode Fuzzy FMEA," JTT (Jurnal Teknologi Terpadu), vol. 8, no. 1, 2020.
- [9] Lestari, L. S. T., dan P. J. Ginting. "Analisis Perawatan Mesin Dengan Menggunakan Metode Failure Modes And Effects Analysis (FMEA)," Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan, vol. 4, no. 3, 2025.
- [10] Pane, K. "Perencanaan *Preventive Maintenance* Pada Mesin Chiller Dengan Metode Reliability Centered Maintenance Pada PT. Multimas Nabati Asahan Kuala Tanjung," Repositori Universitas Medan Area, 2018.
- [11] Habibi, M. H., Sutrisno, dan A. Jibril. "Analisis Perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF) Dan Mean Time To Repair (MTTR) Mesin Cold Storage," J-CEKI : Jurnal Cendekia Ilmiah, vol. 4, no. 4, 2025.
- [12] Rahmanto, A. A., R. Irfani, dan L. A. Suryawan. "Analisis Faktor Yang Menyebabkan *Downtime* Pada Mesin Injector Freon Di Divisi Refrigerator PT. XYZ," Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material, vol. 9, no. 1, hlm. 113-120, 2025.
- [13] Munawir, H., R. M. Ulfa, dan M. Djunaidi. "Analisa Risiko Kegagalan Terhadap *Downtime* Pada Line Crank Case Menggunakan Metode Failure Mode Effect Analysis," Prosiding IENACO 2020.
- [14] Silvia, S., R. I. D. Suyatmo, dan Murnianti. "Analisis *Preventive Maintenance* Berdasarkan Mean Time Between Failure (MTBF) Dan Mean Time To Repair (MTTR) Pada Alat Blow Molding Di PT XYZ," Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa, vol. 2, no. 8, hlm. 3471-3478, 2024.