

Analisis keandalan mesin *roll* menggunakan MTBF dan MTTR pada PT XYZ Karawang

Reliability analysis of roll machines using MTBF and MTTR at PT XYZ Karawang

Muhamad Naufal*, Risma Fitriani, Naufal Rabbani Sumitra

* Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. Teluk Jambe Timut, Karawang, Indonesia

*Email: 04muhamad.naufal@gmail.com

Informasi Artikel	Abstrak
<p>Histori Artikel</p> <ul style="list-style-type: none">- Artikel dikirim 02/02/2026- Artikel diperbaiki 14/02/2026- Artikel diterima 03/04/2026	<p>Kerusakan pada komponen roll sering terjadi sebelum masa pakai berakhir sehingga menyebabkan downtime tinggi dan menurunkan kinerja produksi. Selain itu, sistem preventive maintenance yang diterapkan belum berbasis analisis kuantitatif seperti MTBF dan MTTR, sehingga evaluasi keandalan dan efisiensi perbaikan belum optimal. Penelitian ini bertujuan menganalisis keandalan mesin <i>Spreader Roll</i> pada PT XYZ Karawang menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis data historis kerusakan tahun 2024. Permasalahan utama perusahaan adalah tingginya frekuensi kerusakan komponen kritis, khususnya <i>bearing</i>, yang menyebabkan peningkatan <i>downtime</i> produksi. Metode penelitian meliputi analisis <i>Mean Time Between Failure</i> (MTBF), <i>Mean Time to Repair</i> (MTTR), perhitungan <i>availability</i>, serta identifikasi akar penyebab kegagalan menggunakan diagram <i>fishbone</i> dan <i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (FMEA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin <i>Spreader Roll</i> memiliki frekuensi kerusakan tertinggi dengan <i>bearing</i> sebagai komponen paling kritis. Interval <i>preventive maintenance</i> optimal diperoleh setiap 66 hari, lebih singkat dibandingkan jadwal aktual perusahaan sebesar 90 hari. Nilai <i>availability</i> sebesar 96,65% mengindikasikan kinerja mesin berada dalam kategori keandalan yang baik, namun masih berpotensi ditingkatkan melalui perawatan yang lebih terjadwal. Analisis FMEA menunjukkan faktor manusia, metode, dan pengukuran sebagai penyebab dominan kegagalan dengan nilai <i>Risk Priority Number</i> tertinggi. Penelitian ini mengonfirmasi bahwa penentuan jadwal <i>preventive maintenance</i> berbasis MTBF dan MTTR efektif meningkatkan keandalan mesin serta menurunkan risiko <i>downtime</i> produksi.</p> <p>Kata Kunci: Keandalan Mesin; <i>Spreader Roll</i>; MTBF; MTTR; <i>Preventive Maintenance</i></p> <p>Abstract</p> <p><i>Roll component damage often occurs before the end of its service life, causing high downtime and reducing production performance. In addition, the implemented preventive maintenance system is not based on quantitative analysis such as MTBF and MTTR, so that the evaluation of reliability and repair efficiency is not optimal. This study aims to analyze the reliability of the Spreader Roll machine at PT XYZ Karawang using a quantitative approach based on historical damage data in 2024. The company's main problem is the high frequency of critical component failures, especially bearings, which causes increased production downtime. The research methods include analysis of Mean Time Between Failure (MTBF), Mean Time</i></p>

to Repair (MTTR), availability calculations, and identification of root causes of failure using a fishbone diagram and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). The results show that the Spreader Roll machine has the highest frequency of failures with bearings as the most critical component. The optimal preventive maintenance interval is obtained every 66 days, shorter than the company's actual schedule of 90 days. The availability value of 96.65% indicates that the machine's performance is in the good reliability category, but still has the potential to be improved through more scheduled maintenance. The FMEA analysis shows human factors, methods, and measurements as the dominant causes of failure with the highest Risk Priority Number value. This study confirms that determining preventive maintenance schedules based on MTBF and MTTR effectively increases machine reliability and reduces the risk of production downtime.

Keywords: Machine Reliability; Spreader Roll; MTBF; MTTR; Preventive Maintenance

1. Pendahuluan

Perkembangan industri manufaktur di era otomasi menuntut pengoperasian mesin secara intensif dan berkelanjutan guna mencapai efisiensi produksi yang optimal [1]. Mesin produksi umumnya beroperasi 8–24 jam per hari sehingga keandalan dan kesiapan mesin menjadi faktor krusial dalam menjaga kelancaran proses produksi [2]. Gangguan operasi mesin dapat menyebabkan terhentinya proses produksi yang berdampak pada penurunan produktivitas dan peningkatan biaya operasional [3]. Oleh sebab itu, perusahaan perlu menerapkan sistem perawatan yang terencana melalui pendekatan *preventive maintenance* untuk meminimalkan kerusakan dan *downtime* produksi [4]. Kegiatan *maintenance* berperan penting dalam menjaga performa mesin pada industri dengan intensitas produksi tinggi [5].

Dalam konteks pengukuran keandalan, kualitas produk dan mesin ditentukan oleh kemampuan berfungsi secara konsisten dalam jangka waktu tertentu [6]. Indikator kuantitatif yang umum digunakan untuk menilai keandalan adalah *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) [7]. MTBF menunjukkan rata-rata waktu antar kerusakan, sedangkan MTTR menggambarkan rata-rata waktu perbaikan hingga mesin kembali beroperasi [8]. Nilai MTBF yang tinggi menunjukkan tingkat keandalan yang baik, sementara MTTR yang rendah mencerminkan efisiensi proses perbaikan [9].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji penerapan MTBF dan MTTR dalam meningkatkan efektivitas sistem perawatan mesin. Penelitian Moemenishahraki, (2025) menunjukkan bahwa analisis MTBF dan MTTR dapat digunakan untuk mengoptimalkan strategi *maintenance* dan menurunkan *downtime* mesin produksi [10]. Penelitian lain juga menegaskan bahwa indikator keandalan berbasis data historis mampu meningkatkan akurasi perencanaan perawatan serta efisiensi operasional [11]. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada mesin produksi secara umum dan belum secara spesifik mengkaji komponen kritis seperti *roll* pada industri *pulp* dan *paper* [10]. Dengan demikian, terdapat celah penelitian yang berkaitan dengan analisis keandalan komponen *roll* serta keterkaitannya dengan kinerja layanan servis.

Dalam konteks industri *pulp* dan *paper*, keandalan mesin *roll* berperan penting dalam menjaga kontinuitas dan kualitas produksi kertas [12]. PT XYZ sebagai perusahaan yang bergerak di bidang produksi dan perbaikan *roll* memiliki peran strategis dalam mendukung proses produksi pelanggan. Berdasarkan kondisi aktual di lapangan, *roll* umumnya digunakan hingga tiga siklus pemakaian dengan usia pakai sekitar 36 bulan [13]. Namun, kerusakan sering terjadi sebelum masa pakai berakhir, terutama pada komponen *bearing*, *journal*, dan lapisan karet. Kerusakan tersebut mengharuskan *roll* dikirim kembali ke fasilitas servis dengan waktu perbaikan 10–12 minggu akibat keterbatasan suku cadang dan antrean pekerjaan, sehingga berdampak pada penurunan tingkat kepuasan pelanggan [14].

Meskipun perusahaan telah menerapkan perawatan berkala, sistem *preventive maintenance* yang ada belum sepenuhnya berbasis analisis kuantitatif data historis kerusakan [15]. Belum tersedia indikator objektif yang digunakan secara sistematis untuk mengevaluasi keandalan *roll*

maupun efisiensi proses servis [16]. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan analisis MTBF dan MTTR secara spesifik pada *roll* industri *pulp* dan *paper* serta pemanfaatannya untuk mengevaluasi kinerja proses servis di PT XYZ. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) pada *roll* yang diproduksi atau diservis di PT XYZ. Hasil penelitian diharapkan memberikan dasar perumusan strategi *preventive maintenance* yang lebih akurat untuk mengurangi *downtime* pelanggan dan meningkatkan kualitas layanan servis.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis tingkat keandalan dan efisiensi perbaikan mesin *roll* pada industri *pulp* dan kertas [17]. Penelitian dilakukan di PT XYZ Karawang dengan objek mesin *Spreader Roll* yang diproduksi dan/atau diperbaiki perusahaan, berdasarkan data historis kerusakan dan waktu perbaikan selama periode Januari–Desember 2024 [18].

Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder [19]. Data primer diperoleh melalui observasi proses perawatan dan perbaikan serta wawancara dengan operator dan staf *maintenance* untuk memahami jenis kerusakan, prosedur perbaikan, dan kendala servis. Data sekunder berupa dokumen internal perusahaan yang meliputi data historis kerusakan, durasi perbaikan, dan inventaris mesin tahun 2024, yang didukung studi pustaka terkait *maintenance* dan keandalan mesin.

Pengumpulan data berfokus pada data kuantitatif sebagai sumber utama analisis, sedangkan data kualitatif dari observasi dan wawancara digunakan sebagai pendukung interpretasi hasil. Data numerik kerusakan dan durasi perbaikan diolah untuk menghitung *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) [20]. Selanjutnya dihitung nilai *Availability* untuk menilai tingkat kesiapan mesin, kemudian dilakukan analisis *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) guna menentukan prioritas perbaikan melalui perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) [21].

Analisis data dilakukan dengan mengidentifikasi pola kerusakan, mengevaluasi efektivitas *preventive maintenance*, serta menilai efisiensi proses perbaikan *Spreader Roll* berdasarkan hasil perhitungan MTBF, MTTR, dan *Availability*. Analisis risiko melalui FMEA digunakan untuk menetapkan prioritas tindakan perbaikan pada komponen kritis. Hasil analisis memberikan dasar rekomendasi perbaikan strategi perawatan guna meningkatkan keandalan mesin dan mengurangi *downtime* layanan servis PT XYZ Karawang.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengumpulan data

Data kerusakan mesin *roll* selama periode Januari–Desember 2024 direkapitulasi berdasarkan jenis mesin untuk memperoleh gambaran distribusi frekuensi kerusakan sebagai dasar penentuan objek analisis utama. Rekapitulasi ini dilakukan dengan mengelompokkan seluruh kejadian kerusakan sesuai jenis mesin yang tercatat dalam dokumentasi perusahaan. Proses pengumpulan data difokuskan pada jumlah kejadian kerusakan tiap mesin tanpa melakukan interpretasi kinerja pada tahap ini. Data yang terkumpul kemudian disusun secara sistematis untuk memudahkan tahap pengolahan data berikutnya. Rekapitulasi jumlah kerusakan mesin berdasarkan jenis mesin disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kerusakan mesin

No	Jenis Mesin	Jumlah kerusakan
1	<i>Spreader Roll</i>	20
2	<i>Calender Roll</i>	6
3	<i>Press Roll</i>	8
4	<i>Dryer Roll</i>	5
5	<i>Forming Roll</i>	6
	<i>Total</i>	45

Berdasarkan [Tabel 1](#), tercatat 45 kejadian kerusakan pada lima jenis mesin *roll* selama periode penelitian. Data menunjukkan bahwa setiap jenis mesin memiliki jumlah kejadian kerusakan yang berbeda selama satu tahun pengamatan. Informasi ini memberikan gambaran awal mengenai distribusi kerusakan mesin yang akan digunakan sebagai dasar pemilihan objek analisis pada tahap pengolahan data. Penyajian data dalam bentuk rekapitulasi memudahkan identifikasi mesin dengan frekuensi kerusakan yang lebih dominan. Data tersebut selanjutnya menjadi acuan dalam pengumpulan data yang lebih rinci pada tingkat komponen mesin.

Setelah data kerusakan mesin dikumpulkan, tahap berikutnya adalah merekapitulasi kerusakan berdasarkan komponen mesin yang mengalami gangguan setiap bulan selama periode penelitian. Pengumpulan data ini bertujuan untuk mengetahui sebaran kerusakan komponen secara temporal dalam satu tahun pengamatan. Data bulanan disusun untuk melihat variasi frekuensi kerusakan setiap komponen tanpa melakukan analisis penyebab kerusakan pada tahap ini. Penyusunan data dilakukan secara kronologis agar memudahkan proses identifikasi pola kerusakan komponen pada tahap pengolahan data. Rekapitulasi kerusakan komponen per bulan disajikan pada [Tabel 2](#).

Tabel 2. Kerusakan Komponen

No.	Komponen Rusak	Bulan												Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	<i>Bearing</i>	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	2	1	9
2	<i>Shaft</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	4
3	<i>Coupling</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	3
4	<i>Roll Surface</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
5	<i>Bracket Mounting</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
6	<i>Seal</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
7	<i>Pulley / Drive Sheave</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

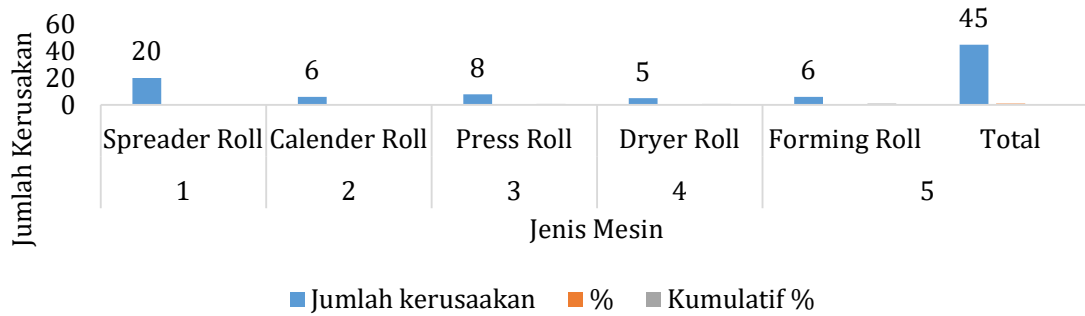
Berdasarkan [Tabel 2](#), diperoleh data kerusakan komponen mesin *roll* yang terjadi setiap bulan selama periode penelitian. Data tersebut menunjukkan bahwa frekuensi kerusakan tiap komponen bervariasi dari bulan ke bulan dalam satu periode pengamatan. Informasi ini memberikan gambaran awal mengenai distribusi kerusakan komponen yang akan digunakan sebagai dasar dalam proses pengolahan data. Penyajian data bulanan membantu dalam mengidentifikasi komponen yang paling sering mengalami kerusakan secara kuantitatif. Data ini selanjutnya menjadi input utama dalam perhitungan keandalan dan analisis risiko pada sub bab.

3.2 Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan dengan menghitung frekuensi kerusakan tiap jenis mesin *roll* selama periode Januari–Desember 2024 untuk menentukan objek analisis utama. Data jumlah kerusakan kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase dan kumulatif persentase guna melihat kontribusi masing-masing mesin terhadap *total* kerusakan. Proses ini bertujuan menyaring mesin dengan tingkat gangguan operasional paling dominan sebagai fokus analisis keandalan. Hasil perhitungan rekapitulasi kerusakan mesin disajikan pada [Tabel 3](#) dan [Gambar 1](#) sebagai dasar penentuan objek penelitian lanjutan.

Tabel 3. Kerusakan mesin

No	Jenis Mesin	Jumlah kerusakan	%	Kumulatif %
1	<i>Spreader Roll</i>	20	44,44%	44,44%
2	<i>Calender Roll</i>	6	13,33%	57,78%
3	<i>Press Roll</i>	8	17,78%	75,56%
4	<i>Dryer Roll</i>	5	11,11%	86,67%
5	<i>Forming Roll</i>	6	13,33%	100,00%
	<i>Total</i>	45	100,00%	



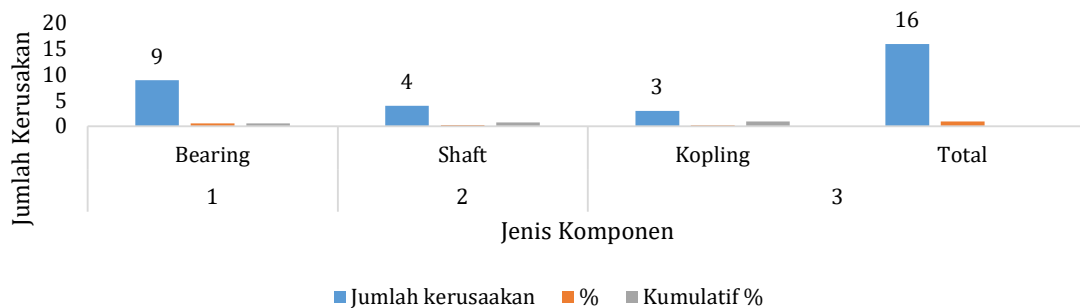
Gambar 1. Diagram frekuensi kerusakan mesin tahun 2024

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 1, *Spreader Roll* memiliki jumlah kerusakan tertinggi yaitu 20 kejadian atau 44,44% dari total kerusakan mesin selama tahun 2024. Nilai kumulatif menunjukkan bahwa tiga mesin utama, yaitu *Spreader Roll*, *Press Roll*, dan *Calender Roll*, berkontribusi lebih dari 75% terhadap total kerusakan. Hasil pengolahan ini menunjukkan bahwa gangguan operasional paling dominan terjadi pada *Spreader Roll* dibandingkan mesin lainnya. Oleh karena itu, *Spreader Roll* ditetapkan sebagai objek utama dalam analisis keandalan dan efisiensi perbaikan pada tahap selanjutnya. Penetapan objek ini menjadi dasar dalam pengolahan data lanjutan pada tingkat komponen mesin.

Pengolahan data berikutnya dilakukan dengan mengelompokkan kerusakan berdasarkan komponen pada mesin *Spreader Roll* untuk mengidentifikasi komponen kritis. Data frekuensi kerusakan tiap komponen dihitung dan disajikan dalam bentuk jumlah kejadian serta persentasenya terhadap total kerusakan komponen. Proses ini bertujuan menentukan komponen yang paling berpengaruh terhadap terjadinya *downtime* mesin. Hasil rekapitulasi kerusakan komponen digunakan sebagai dasar dalam analisis keandalan dan penentuan prioritas perbaikan berbasis risiko. Rekapitulasi kerusakan komponen *Spreader Roll* disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 2.

Tabel 4. Kerusakan komponen tertinggi

No.	Komponen	Jumlah kerusakan	%	Kumulatif %
1	<i>Bearing</i>	9	56,25%	56,25%
2	<i>Shaft</i>	4	25,00%	81,25%
3	<i>Kopling</i>	3	18,75%	100,00%
Total		16	100,00%	



Gambar 2. Diagram frekuensi kerusakan mesin tahun 2024

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 2, komponen *bearing* memiliki frekuensi kerusakan tertinggi yaitu 9 kejadian atau 56,25% dari total kerusakan komponen *Spreader Roll*. Nilai kumulatif menunjukkan bahwa kerusakan pada *bearing* dan *shaft* telah mencakup lebih dari 80% total kejadian kerusakan komponen. Hasil ini menunjukkan bahwa *bearing* merupakan

komponen paling kritis yang berkontribusi terhadap gangguan operasional mesin. Identifikasi komponen kritis tersebut menjadi dasar dalam perhitungan MTBF, MTTR, serta analisis risiko pada tahap berikutnya. Dengan demikian, pengolahan data ini mendukung fokus perbaikan pada komponen dengan tingkat kegagalan tertinggi untuk meningkatkan efektivitas *preventive maintenance*.

3.3 Hasil perhitungan MTBF, MTTR, *availability*

Perhitungan keandalan dilakukan menggunakan indikator *Mean Time to Repair* (MTTR) dan *Mean Time Between Failure* (MTBF) berdasarkan data kerusakan komponen kritis pada mesin *Spreader Roll*. Seluruh perhitungan menggunakan satuan menit agar konsisten dengan data durasi perbaikan dan interval kerusakan yang tercatat pada log histori perawatan. MTTR merepresentasikan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kerusakan hingga mesin kembali beroperasi, sedangkan MTBF menunjukkan rata-rata waktu operasi mesin antar dua kejadian kerusakan berturut-turut. Nilai *Time Between Failure* (TBF) diperoleh dari selisih waktu antar kejadian kerusakan berdasarkan catatan histori perawatan mesin di PT XYZ Karawang. Rumus yang digunakan adalah:

$$MTBF = \frac{\text{Total Operating Time}}{\text{Number of Failure}} \quad (1)$$

$$MTTR = \frac{\text{Total Maintenance Time}}{\text{Number of Repair}} \quad (2)$$

Data kerusakan dari komponen *bearing* pada mesin *spread roll*. Berdasarkan Tabel 5, terdapat dua kejadian kerusakan pada komponen *bearing* dengan durasi perbaikan masing-masing 480 menit dan 450 menit. Nilai TBF sebesar 72.000 menit dan 68.500 menit menunjukkan interval waktu operasi mesin sebelum terjadi kerusakan berikutnya. Data ini menggambarkan bahwa mesin memiliki periode operasi yang cukup panjang sebelum mengalami kegagalan.

Tabel 5. Komponen bearing

Komponen	Perbaikan		MTTR	MTBF
	Start	Finish		
Bearing	12/01/202408:00	12/01/202416:00	480	72.000
	04/10/202407:30	04/10/202415:00	450	68.500

Variasi durasi perbaikan menunjukkan adanya perbedaan kompleksitas pekerjaan servis pada setiap kejadian kerusakan. Data MTTR dan MTBF tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan MTTR dan MTBF. Maka, untuk perhitungan *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR).

$$MTBF = \frac{\text{Total (Downtime - Up Time)}}{\text{Number of Failure}}$$

$$MTBF = 1750$$

$$MTTR = \frac{\text{Total Maintenance Time}}{\text{Number of Repair}}$$

$$MTTR = 465 \text{ Menit}$$

Artinya, rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kerusakan *bearing* adalah 465 menit setiap terjadi kerusakan.

Tabel 6. Data kerusakan bearing

Komponen	Start operasi	Waktu keruakan	Start	Finish	MTBF (Menit)	MTTR (Menit)
			perbaikan	perbaikan		
Bearing	01/01/2024 00:00	02/20/2024 00:00	02/20/2024 01:00	02/20/2024 04:00	72000	180
	02/20/2024 20:40	04/01/2024 03:20	04/01/2024 04:20	04/01/2024 07:50	58000	210

Komponen	Start operasi	Waktu keruakan	Start perbaikan	Finish perbaikan	MTBF (Menit)	MTTR (Menit)
	04/02/2024 00:30	05/16/2024 11:10	05/16/2024 12:10	05/16/2024 16:10	64000	240
	05/17/2024 08:50	06/17/2024 14:50	06/17/2024 15:50	06/17/2024 18:50	45000	180
	06/18/2024 11:30	07/30/2024 20:10	07/30/2024 21:10	07/31/2024 01:10	61000	240
	07/31/2024 17:50	09/05/2024 20:30	09/05/2024 21:30	09/06/2024 01:00	52000	210
	09/06/2024 17:40	10/17/2024 17:00	10/17/2024 18:00	10/17/2024 22:00	59000	240
	10/18/2024 14:40	11/19/2024 13:20	11/19/2024 14:20	11/19/2024 17:20	46000	180
	11/20/2024 10:00	12/25/2024 20:00	12/25/2024 21:00	12/26/2024 00:30	51000	210
	Jumlah				508000	1890
	Rata-rata				56444,4444	210
	1 Hari = 1440 menit					

Berdasarkan Tabel 6, diketahui bahwa mesin beroperasi secara berkelanjutan selama 24 jam per hari. Dalam satu tahun operasi (365 hari), *total* waktu operasi mesin adalah 525.600 menit. Data kerusakan pada tabel menunjukkan frekuensi kerusakan *bearing* dan lama waktu perbaikan untuk setiap kejadian. Dari data tersebut dihitung *total* waktu operasi antar kerusakan untuk memperoleh MTBF, serta *total* waktu perbaikan untuk memperoleh MTTR. Nilai MTBF yang lebih besar dibandingkan MTTR mengindikasikan bahwa mesin lebih lama berada pada kondisi beroperasi dibandingkan dalam kondisi perbaikan, yang berarti tingkat keandalan mesin relatif baik. Selama periode penelitian, *total downtime* akibat kerusakan mesin tercatat sebesar 17.600 menit. Dengan demikian, waktu operasi aktual mesin (*Operation Time*) dapat dihitung.

Waktu Operasi = *Total Waktu Kalender* - *Total Downtime*

Waktu Operasi = 525.600 - 17.600

Waktu Operasi = 508.000 menit

Dengan didapatkannya *Total Operation Time* maka untuk perhitungan *Availability*;

$$Availability = \frac{Waktu\ Operasi}{Total\ waktu\ operasi} \times 100\%$$

$$Availability = \frac{508000 - 0}{525600} \times 100\%$$

$$Availability = 96,65\% \approx 97\%$$

Nilai *Availability* mesin *Spreader Roll* dengan komponen *bearing* diperoleh sebesar 96,65%. Nilai ini menunjukkan proporsi waktu mesin berada dalam kondisi siap beroperasi dibandingkan dengan *total* waktu tersedia selama periode pengamatan. Perhitungan dilakukan menggunakan satuan menit secara konsisten, sehingga mencerminkan tingkat kesiapan aktual mesin dalam mendukung proses produksi. Dengan demikian, secara kuantitatif mesin memiliki tingkat ketersediaan operasi yang tinggi sepanjang tahun pengamatan.

Nilai *Availability* sebesar 96,65% mengindikasikan bahwa mesin berada dalam kondisi operasional hampir sepanjang waktu, namun masih terdapat kehilangan waktu akibat *downtime* kerusakan komponen *bearing*. Kondisi ini menunjukkan bahwa keandalan mesin sudah cukup baik, tetapi masih memiliki peluang peningkatan melalui pengendalian *downtime* yang lebih efektif. Tingkat *availability* yang belum mencapai nilai maksimum menandakan bahwa aktivitas perawatan belum sepenuhnya mampu mencegah gangguan operasi. Oleh karena itu, diperlukan penguatan program *preventive maintenance* yang lebih terjadwal untuk menekan frekuensi kerusakan dan meningkatkan keandalan mesin dalam mendukung kelancaran proses produksi.

3.4 Analisis dan pembahasan

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai MTBF sebesar 33.864 menit menandakan interval waktu antar kerusakan mesin relatif panjang, sehingga secara umum tingkat keandalan mesin berada pada kategori baik. Namun demikian, dominasi kerusakan pada komponen *bearing* menunjukkan bahwa keandalan sistem masih dipengaruhi oleh komponen kritis yang memiliki frekuensi kegagalan paling tinggi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kegagalan mesin tidak terjadi secara acak, melainkan terpusat pada komponen tertentu yang memiliki beban kerja tinggi. Oleh karena itu, peningkatan keandalan mesin perlu difokuskan pada pengendalian penyebab kerusakan pada komponen *bearing* melalui perawatan yang lebih terjadwal. Temuan ini mendukung tujuan penelitian dalam mengidentifikasi komponen kritis sebagai dasar penyusunan strategi *preventive maintenance* yang lebih efektif.

Nilai MTTR sebesar 1.176 menit menunjukkan bahwa rata-rata waktu perbaikan mesin masih tergolong lama dan berpotensi menurunkan efektivitas proses produksi. Lamanya waktu perbaikan dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti keterbatasan ketersediaan suku cadang, waktu tunggu proses identifikasi kerusakan, serta prosedur perbaikan yang belum optimal. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa sistem perawatan korektif masih belum sepenuhnya efisien dalam meminimalkan waktu henti mesin. Upaya perbaikan dapat dilakukan melalui peningkatan kesiapan teknisi, standarisasi prosedur perbaikan, serta pengelolaan persediaan spare part yang lebih terencana. Dengan menurunkan nilai MTTR, maka waktu henti produksi dapat diminimalkan sehingga efisiensi operasional perusahaan dapat meningkat.

Nilai *Availability* sebesar 96,65% menunjukkan bahwa mesin memiliki tingkat kesiapan operasi yang tinggi selama periode pengamatan. Meskipun demikian, masih terdapat sekitar 3,35% waktu hilang akibat *downtime* yang perlu menjadi perhatian dalam pengelolaan perawatan mesin. Tingkat *availability* yang belum mencapai kondisi maksimal menandakan bahwa gangguan kerusakan masih memberikan dampak terhadap kontinuitas proses produksi. Oleh karena itu, strategi peningkatan *availability* perlu difokuskan pada pengurangan frekuensi kerusakan melalui program *preventive maintenance* yang lebih sistematis. Peningkatan *availability* secara langsung akan mendukung kelancaran produksi dan menjaga stabilitas pemenuhan permintaan pelanggan.

Secara keseluruhan, hubungan antara MTBF, MTTR, dan *Availability* menunjukkan bahwa peningkatan keandalan mesin tidak hanya bergantung pada lamanya waktu operasi sebelum kerusakan, tetapi juga pada kecepatan proses perbaikan ketika kerusakan terjadi. Nilai MTBF yang tinggi perlu diimbangi dengan nilai MTTR yang rendah agar *availability* mesin dapat terus ditingkatkan. Dengan demikian, perusahaan perlu mengintegrasikan kebijakan *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* secara seimbang untuk mencapai kinerja perawatan yang optimal. Analisis ini menegaskan bahwa pengendalian kerusakan komponen kritis dan efisiensi proses perbaikan merupakan faktor kunci dalam meningkatkan keandalan sistem produksi. Hasil pembahasan ini selaras dengan tujuan penelitian, yaitu merumuskan strategi perawatan mesin yang mampu meningkatkan efisiensi operasional dan menjaga keberlangsungan proses produksi.

3.5 Analisis risiko (*Fishbone* & FMEA)

Hasil perhitungan MTBF dan MTTR menunjukkan bahwa interval optimal *preventive maintenance* untuk komponen *bearing* pada mesin *Spreader Roll* adalah setiap 66 hari, lebih pendek dibandingkan jadwal aktual perusahaan yang dilakukan setiap 90 hari. Selisih interval ini mengindikasikan adanya potensi peningkatan risiko sudden failure apabila perawatan tidak disesuaikan dengan karakteristik kerusakan aktual komponen. Oleh karena itu, perusahaan perlu mengombinasikan *corrective maintenance* dengan *preventive maintenance* berbasis kondisi (*opportunity maintenance*) untuk menekan risiko kegagalan berulang pada komponen kritis. Mengingat *bearing* merupakan komponen dengan frekuensi kerusakan tertinggi, analisis lanjutan dilakukan untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan menggunakan diagram *fishbone* dan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). Hasil analisis ini menjadi dasar penentuan prioritas tindakan perbaikan untuk meningkatkan keandalan mesin.

Tabel 7. Penjabaran fishbone

Kategori	Penyebab Utama 1	Penyebab Utama 2
Manusia	Kurangnya pelatihan operator	Kesalahan pemasangan <i>bearing</i>
Mesin	Poros tidak seimbang	Ketidaksejajaran <i>bearing</i> dan <i>shaft</i>
Metode	SOP perawatan tidak diikuti	Metode pelumasan tidak tepat
Material	Pelumas berkualitas rendah	Kontaminasi pelumas
Lingkungan	Suhu operasi terlalu tinggi	Paparan debu atau bahan kimia
Pengukuran	Tidak ada <i>monitoring</i> suhu/getaran	Alarm <i>monitoring</i> tidak tersedia/tidak akurat

Tabel 7 menunjukkan bahwa penyebab kerusakan *bearing* tersebar pada enam kategori utama (6M), yaitu manusia, mesin, metode, material, lingkungan, dan pengukuran. Faktor manusia didominasi oleh kurangnya pelatihan dan kesalahan pemasangan, sedangkan faktor mesin berkaitan dengan ketidakseimbangan poros dan misalignment *shaft-bearing*. Pada aspek metode, ketidakkonsistenan penerapan SOP serta metode pelumasan yang kurang tepat menjadi penyebab utama, sementara faktor material dipengaruhi kualitas pelumas dan kontaminasi. Faktor lingkungan berupa suhu operasi tinggi dan paparan debu/bahan kimia turut mempercepat degradasi komponen. Selain itu, keterbatasan sistem pengukuran seperti tidak adanya *monitoring* getaran dan alarm yang kurang akurat menyebabkan kegagalan tidak terdeteksi secara dini. Secara keseluruhan, tabel ini menegaskan bahwa kerusakan *bearing* bersifat multifaktor dan saling berkaitan antar kategori penyebab.

Tabel 8. Score occurrence

Category	Score
<i>Certain to fail (1 failure per hour)</i>	5
<i>High number (1 failure per day)</i>	4
<i>Occasional (1 failure per week)</i>	3
<i>Few (1 failure per month)</i>	2
<i>Unlikely (1 failure per year)</i>	1

Tabel 8 menyajikan skala penilaian Occurrence yang menggambarkan frekuensi kemungkinan terjadinya kegagalan, mulai dari nilai 1 (*unlikely*) hingga 5 (*certain to fail*). Skala ini menunjukkan bahwa kegagalan dengan frekuensi tinggi memperoleh bobot risiko lebih besar karena peluang kemunculannya lebih sering selama operasi mesin. Penerapan skala ini memungkinkan klasifikasi mode kegagalan berdasarkan tingkat kejadian aktual di lapangan. Dengan demikian, tabel ini menjadi dasar dalam menentukan kontribusi frekuensi kerusakan terhadap besarnya nilai RPN. Hasilnya membantu mengidentifikasi mode kegagalan yang paling sering muncul sebagai prioritas pengendalian.

Tabel 9. Score detection

Category	Score
<i>Undetectable</i>	5
<i>Poor</i>	4
<i>Moderate</i>	3
<i>Good</i>	2
<i>Excellent</i>	1

Tabel 9 menggambarkan kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan sebelum berdampak pada operasi mesin, dengan rentang nilai 1 (*excellent*) hingga 5 (*undetectable*). Nilai deteksi yang tinggi menunjukkan bahwa kegagalan sulit dikenali secara dini sehingga berisiko menimbulkan kerusakan mendadak. Penerapan kriteria ini menekankan pentingnya sistem *monitoring* kondisi mesin, seperti sensor getaran dan alarm peringatan dini. Semakin rendah kemampuan deteksi, semakin besar kontribusinya terhadap peningkatan nilai RPN. Oleh karena itu, tabel ini menegaskan peran sistem pengukuran sebagai faktor kunci dalam pencegahan kerusakan mendadak.

Tabel 10. *Score severity*

<i>Category</i>	<i>Score</i>
<i>Catastrophic</i>	5
<i>Critical</i>	4
<i>Serious</i>	3
<i>Minor</i>	2
<i>Negligible</i>	1

Tabel 10 menyajikan tingkat keparahan dampak kegagalan mulai dari negligible hingga catastrophic. Skala ini menunjukkan bahwa kegagalan dengan dampak besar terhadap operasi mesin dan kontinuitas produksi memperoleh nilai *Severity* yang lebih tinggi. Penerapan skala *Severity* membantu menilai seberapa besar konsekuensi kegagalan *bearing* terhadap sistem secara keseluruhan. Nilai *Severity* yang tinggi menunjukkan bahwa kerusakan tidak hanya berdampak pada komponen, tetapi juga dapat memicu *downtime* dan gangguan proses produksi. Dengan demikian, tabel ini menjadi acuan dalam menilai dampak kegagalan secara sistemik. Setelah mendapatkan hasil *Score* dari *Occurrence*, *Detection*, dan *Severity* maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) dengan rumus.

$$RPN = Occurrence \times Detection \times Severity \quad (3)$$

Dimana:

Severity: *Score* keparahan dampak kegagalan

Occurrence: *Score* frekuensi terjadinya kegagalan

Detection: *Score* kemampuan deteksi kegagalan sebelum mencapai Pelanggan

Dengan menggunakan data dari tiga ahli yang berpengalaman, selanjutnya dilakukan perhitungan rata-rata untuk menghasilkan angka *Risk Priority Number* (RPN) pada setiap mode kegagalan yang ada dalam penelitian ini. Hal ini memberikan gambaran yang lebih akurat tentang risiko yang terkait dengan setiap mode kegagalan yang mungkin terjadi [22]. Berikut adalah tabel *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) yang telah dihasilkan serta angka *Risk Priority Number* (RPN) yang merupakan hasil dari perhitungan rata-rata oleh ketiga ahli tersebut:

Tabel 11. FMEA dan RPN

<i>Component</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Cause</i>	<i>Failure Classification</i>	<i>Failure Effects (Component)</i>	<i>Failure Effects (System)</i>	O	D	S	RPN
<i>Bearing</i>	Aus	Karyawan tidak terlatih	Manusia	Pelumasan tidak tepat	<i>Overheating</i> , kerusakan <i>bearing</i>	4	4	5	80
<i>Bearing</i>	Pecah	Kesalahan pemasangan	Manusia	Misalignment	Kerusakan cepat, <i>downtime</i>	3	3	5	45
<i>Bearing</i>	Getas	Poros tidak balance	Mesin	Keausan tidak merata	Getaran berlebih, aus dini	4	3	4	48
<i>Bearing</i>	Aus	Ketidaksejajaran <i>shaft-bearing</i>	Mesin	Distribusi beban tidak merata	<i>Overheating</i> , kerusakan cepat	4	3	4	48
<i>Bearing</i>	Kinerja menurun	SOP perawatan tidak diikuti	Metode	Pelumasan tidak rutin	Penurunan umur komponen	4	4	4	64
<i>Bearing</i>	Tidak berfungsi optimal	Metode pelumasan tidak tepat	Metode	<i>Over/under lubrication</i>	Kerusakan pelan-pelan	3	4	4	48
<i>Bearing</i>	Cepat aus	Pelumas kualitas rendah	<i>Material</i>	Pelumasan tidak efektif	<i>Overheating</i>	4	4	4	64
<i>Bearing</i>	Terkikis	Kontaminasi pelumas	<i>Material</i>	Partikel masuk ke <i>bearing</i>	Keausan prematur	3	4	4	48

Component	Failure Mode	Failure Cause	Failure Classification	Failure Effects (Component)	Failure Effects (System)	O	D	S	RPN
Bearing	Pelumas rusak	Suhu operasi tinggi	Lingkungan	Pelumas menguap	Kehilangan perlindungan	4	3	4	48
Bearing	Terpapar kotoran	Debu/bahan kimia masuk bearing	Lingkungan	Seal rusak	Kontaminasi pelumas	3	4	4	48
Bearing	Tidak terdeteksi rusak	Tidak ada monitoring getaran	Pengukuran	Tidak ada peringatan awal	Kerusakan tiba-tiba	3	5	5	75
Bearing	Tidak terpantau	Alarm tidak akurat	Pengukuran	Kegagalan sistem peringatan	Tidak ada deteksi dini	3	4	4	48

Tabel 11 menunjukkan hasil perhitungan RPN untuk berbagai mode kegagalan bearing yang telah dikelompokkan ke dalam empat kategori dominan, yaitu kesalahan manusia, keterbatasan sistem monitoring, ketidakkonsistenan metode perawatan, dan kualitas pelumas. Empat nilai RPN tertinggi yang menjadi prioritas perbaikan adalah karyawan tidak terlatih (RPN = 80), tidak adanya monitoring getaran (RPN = 75), SOP perawatan tidak diikuti (RPN = 64), dan penggunaan pelumas berkualitas rendah (RPN = 64). Nilai tersebut menegaskan bahwa faktor manusia dan sistem pengendalian kondisi mesin merupakan penyumbang risiko terbesar terhadap kegagalan bearing. Dampak kegagalan meliputi overheating, penurunan umur komponen, dan downtime tidak terduga yang mengganggu kontinuitas produksi. Oleh karena itu, prioritas perbaikan difokuskan pada pelatihan teknisi, implementasi condition monitoring berbasis sensor getaran, penegakan SOP pemeliharaan, serta pemilihan pelumas sesuai spesifikasi teknis. Langkah ini diharapkan mampu menurunkan frekuensi kerusakan dan meningkatkan keandalan mesin Spreader Roll secara berkelanjutan.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan mesin paling dominan terjadi pada Spreader Roll dengan kontribusi 44,44% dari total kerusakan, sehingga menjadi fokus utama analisis. Pada tingkat komponen, bearing merupakan komponen paling kritis dengan persentase kerusakan tertinggi (56,25%), yang berarti sebagian besar downtime dipengaruhi oleh kegagalan pada komponen ini. Nilai MTBF yang tinggi menunjukkan bahwa mesin memiliki interval operasi yang cukup lama sebelum mengalami kerusakan, sehingga secara umum tingkat keandalan mesin tergolong baik. Namun, nilai MTTR yang masih relatif besar mengindikasikan bahwa proses perbaikan belum efisien dan masih memerlukan waktu yang cukup lama untuk mengembalikan mesin ke kondisi operasional.

Nilai availability sebesar 96,65% menunjukkan bahwa mesin hampir selalu siap digunakan, tetapi masih terdapat potensi peningkatan dengan mengurangi downtime akibat kerusakan bearing. Hal ini menegaskan bahwa peningkatan keandalan tidak hanya bergantung pada jarangness kerusakan, tetapi juga pada kecepatan penanganan perbaikan. Analisis risiko melalui Fishbone dan FMEA menunjukkan bahwa penyebab utama kerusakan berasal dari faktor manusia, metode perawatan, sistem monitoring, dan kualitas pelumas. Prioritas perbaikan difokuskan pada peningkatan kompetensi operator, penerapan monitoring kondisi mesin, kepatuhan terhadap SOP, serta penggunaan pelumas yang sesuai. Dengan perbaikan pada faktor-faktor tersebut, diharapkan frekuensi kerusakan dapat ditekan dan keandalan mesin meningkat secara berkelanjutan.

4. Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa interval preventive maintenance optimal untuk mesin Spreader Roll adalah setiap 66 hari. Interval ini lebih cepat 24 hari dibandingkan jadwal aktual perusahaan yang dilakukan setiap 90 hari. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa penyesuaian jadwal perawatan diperlukan agar sesuai dengan pola kerusakan aktual mesin.

Spreader Roll juga teridentifikasi sebagai mesin dengan frekuensi kerusakan tertinggi sepanjang tahun 2024, dengan komponen *bearing* sebagai penyebab dominan kegagalan. Kondisi ini mengonfirmasi bahwa komponen *bearing* merupakan elemen kritis yang memerlukan prioritas pemantauan dan perawatan. Penelitian ini menegaskan bahwa pendekatan berbasis perhitungan MTBF dan MTTR pada mesin *Spreader Roll* mampu memberikan dasar kuantitatif dalam penentuan interval *preventive maintenance*. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa penyesuaian jadwal perawatan berpengaruh terhadap peningkatan keandalan mesin dan pengendalian *downtime* produksi. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam penyusunan strategi *preventive maintenance* yang lebih terukur dan berbasis data pada komponen kritis mesin produksi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada pihak perusahaan yang telah memberikan izin serta data penelitian yang diperlukan. Ucapan terima kasih disampaikan kepada dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, dan masukan yang konstruktif selama proses penyusunan penelitian ini. Selain itu, penulis mengapresiasi dukungan dari keluarga, rekan-rekan, dan semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik pemeliharaan mesin di industri manufaktur.

Referensi

- [1] F. Sumasto, R. Ramadhani Jiwanto, B. Handoko Purwojatmiko, and I. Rizki Pratama, "Implementasi Penjadwalan *Preventive Maintenance* Untuk Meningkatkan Nilai Efektivitas Mesin pada Mesin Cnc Milling VL-10i," *Journal of Industrial View*, vol. 5, no. 1, pp. 23–35, 2023.
- [2] Silvia, R. I. D. Suyatmo, and 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, pp. 3471–3478, 2023, [Online]. Available: <https://jurnalpengabdianmasyarakatbangsa.com/index.php/jpmba/index>
<https://doi.org/10.59837/jpmba.v2i8.1495>
- [3] Erlangga Diwansyah Rachmawan, Endang Prasetyaningsih, and Reni Amaranti, "Reduksi *Downtime* Menggunakan *Preventive Maintenance* di PT XYZ," *Jurnal Riset Teknik Industri*, vol. 5, no. 1, pp. 83–92, 2025, doi: 10.29313/jrti.v5i1.6447.
<https://doi.org/10.29313/jrti.v5i1.6447>
- [4] M. F. N. Attalla and A. S. Albana, "Penjadwalan *Preventive Maintenance* pada Mesin Coding Printer (Studi Kasus PT. XYZ)," *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 156–167, 2024, doi: 10.31289/jime.v8i2.11614.
<https://doi.org/10.31289/jime.v8i2.11614>
- [5] B. Wicaksono, M. Hatta, N. Nurmawati, and I. Kusnawati, "Penataan Penjadwalan *Preventive Maintenance* Semua Mesin Milling Wheat Menggunakan Metode TPM (*Total Productive Maintenance*)," *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, vol. 7, no. 3, pp. 1850–1857, 2024, doi: 10.31004/jutin.v7i3.31900. <https://doi.org/10.31004/jutin.v7i3.31900>
- [6] J. T. Juwandono and J. Purnama, "Analisa Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement*," *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, vol. 6, no. 3, pp. 483–492, 2023, doi: 10.31004/jutin.v6i3.15768.
<https://doi.org/10.31004/jutin.v6i3.15768>
- [7] Y. Heru Haerudin and W. Dwi Wibowo, "Analisis *Preventive Maintenance* Mesin Compressor dengan *Mean Time Between Failure* dan *Mean Time to Repair* di PT Suzuki Indomobil Motor," *Journal of Management and Industrial Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 73–79, 2024.

- [8] A. M. Kadir, "Assessing Reliability in Manufacturing Systems by a New Arrangement of the Mean Time Between Failures (MTBF)," *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, vol. 28, no. 4, pp. 555–561, 2025, doi: 10.29194/NJES.28040555. <https://doi.org/10.29194/NJES.28040555>
- [9] Erwin, E. Zebua, and N. Njoman Manik, "Analisis interval waktu perawatan preventif pada Paper Machine dengan metode reliability centered maintenance (RCM)," *ARMATUR : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, vol. 5, no. 1, pp. 144–153, 2024, doi: 10.24127/armatur.v5i1.5414. <https://doi.org/10.24127/armatur.v5i1.5414>
- [10] P. Moemenishahraki, "Reliability and Maintenance Performance Analysis of a 1600-ton Press Machine Using MTBF, MTTR, KPI, and Downtime Indicators," *Industrial Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 36–41, 2025, doi: 10.11648/j.ie.20250902.11. <https://doi.org/10.11648/j.ie.20250902.11>
- [11] S. Alfionita and 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. 15, no. 2, pp. 201–213, Nov. 2023, doi: 10.28989/angkasa.v15i2.1833. <https://doi.org/10.28989/angkasa.v15i2.1833>
- [12] J. O. Aji and I. Uchendu, "Improving Facility Operations: A Quantitative Evaluation of MTBF, MTTR, and SLA Targets," *European Journal of Innovative Studies and Sustainability*, vol. 1, no. 3, pp. 247–261, Apr. 2025, doi: 10.59324/ejiss.2025.1(3).20. [https://doi.org/10.59324/ejiss.2025.1\(3\).20](https://doi.org/10.59324/ejiss.2025.1(3).20)
- [13] N. Iskandar, Sulardjaka, and Y. P. Soebroto, "Analisis Reliability Availability dan Maintainability pada Gantry Jib Crane Di Pelabuhan," *Jurnal Momentum*, vol. 17, no. 2, pp. 93–98, 2021. <https://doi.org/10.36499/jim.v17i2.5455>
- [14] A. Styra Bastari and F. Varayesi, "Analisis Performance Maintenance Pada Blowout Preventer Menggunakan Metode Reabilty MTBF MTTR Dan Degradation Test Rubber Packing Element," *Jurnal Teknik & Teknologi Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 31–35, 2024. <https://doi.org/10.47970/jtt.v2i1.628>
- [15] B. Alexander Siagian and B. Dwiharipiradi, "Penerapan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pada Sistem Perawatan Oil Seal Wash Press Fiberline 8 Pt. Indah Kiat Pulp & Paper Tbk Perawang," *Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 2, no. 4, pp. 264–275, 2025, doi: 10.62017/tektionik.
- [16] A. Syaefudin, D. Teguh Santoso, J. Sumarjo, and R. Dewi Anjani, "Analisis Keandalan Mesin Menggunakan MTTR dan Downtime untuk Menentukan Mesin Kritis pada Lini Produksi PT X. (Machine Reliability Analysis Using MTTR and Downtime to Determine Critical Machines in PT X's Production Line)," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 8, no. 2, pp. 149–158, 2025, doi: 10.29407/jmn.v8i2.20403. <https://doi.org/10.29407/jmn.v8i2.20403>
- [17] P. D. Santosa and W. Widiasih, "ANALISIS PERAWATAN PAPER MACHINE UNTUK MENGURANGI KERTAS PUTUS PADA PT.X PAPER MILLS DI JAWA TIMUR," *Jurnal I Tabaos*, vol. 4, no. 1, pp. 17–26, 2024. <https://doi.org/10.30598/i-tabaos.2024.4.1.17-26>
- [18] Tarissa Berliana Kartika and Dira Ernawati, "Analisis Perankingan Supplier Bahan Baku Methanol Dengan Metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) di PT XYZ," *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, vol. 2, no. 2, pp. 236–244, 2023, doi: 10.55606/jtmei.v2i2.1907. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v2i2.1907>
- [19] Izzal Ihsani and Bagus Dwi Cahyono, "Analisis Maintenance pada Operasional Mesin Roll Bending di PT Kenertec Power System," *Uranus : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika*, vol. 3, no. 4, pp. 66–78, 2025, doi: 10.61132/uranus.v3i4.1205. <https://doi.org/10.61132/uranus.v3i4.1205>
- [20] Y. Supriyanti and W. A. Fahrudin, "Analisis efektivitas kinerja mesin dengan metode Total Productive Maintenance di PT. BII Analysis of machine performance effectiveness using the Total Productive Maintenance method at PT. BII," vol. 6, no. 2, pp. 252–260, 2025, doi: 10.37373/jenius.v6i2. <https://doi.org/10.37373/jenius.v6i2>
- [21] G. Prisca Brilianti, an Afif Wastianto, and P. Suteja Putra, "Pengukuran efektivitas mesin cylinder block menggunakan metode overall equipment effectiveness serta analisis

- fishbone* di PT ABC Measuring the effectiveness of cylinder block machines using the overall equipment effectiveness method and *fishbone* analysis at PT ABC,” vol. 6, no. 2, pp. 233–243, 2025, doi: 10.37373/jenius.v6i2. <https://doi.org/10.37373/jenius.v6i2>
- [22] P. Pamungkas, S. Rahayu, and F. Eko Putra, “Analisis pengendalian kualitas produk dengan menggunakan metode seven tools dan FMEA di PT. XYZ Product quality control analysis using the seven tools and FMEA method at PT XYZ,” *Jurnal Terapan Teknik Industri*, vol. 6, no. 1, pp. 70–81, 2025, doi: 10.37373/jenius.v6i1. <https://doi.org/10.37373/jenius.v6i1>