

---

# Academia Open



*By Universitas Muhammadiyah Sidoarjo*

---

## Table Of Contents

<b>Journal Cover</b> .....	1
<b>Author[s] Statement</b> .....	3
<b>Editorial Team</b> .....	4
<b>Article information</b> .....	5
Check this article update (crossmark) .....	5
Check this article impact .....	5
Cite this article.....	5
<b>Title page</b> .....	6
Article Title .....	6
Author information .....	6
Abstract .....	6
<b>Article content</b> .....	7

## Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

## Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

## Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

# Academia Open

Vol. 11 No. 1 (2026): June  
DOI: 10.21070/acopen.11.2026.14332

## EDITORIAL TEAM

### Editor in Chief

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

### Managing Editor

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

### Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

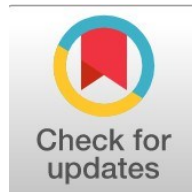
How to submit to this journal ([link](#))

# Academia Open

Vol. 11 No. 1 (2026): June  
DOI: 10.21070/acopen.11.2026.14332

## Article information

**Check this article update (crossmark)**



**Check this article impact (\*)**



**Save this article to Mendeley**



(\*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

## Periodic Replacement Lowers Packing Machine Breakdowns Using Maintenance Ledgers

Muhammad Rizki Fitriadiansyah, 22032010184@student.upnjatim.ac.id (\*)

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

Rusindiyanto Rusindiyanto, rusindiyanto.ti@upnjatim.ac.id

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

(\*) Corresponding author

### Abstract

**General Background:** Machine reliability is essential in modern manufacturing because unexpected breakdowns can disrupt production flow, increase downtime, and reduce operational stability. **Specific Background:** PT XYZ, a ceramic manufacturing company, uses an Easyline Packing Machine as a key packaging machine, but repeated failures occurred in pusher and lifting components under a corrective maintenance system. **Knowledge Gap:** Previous maintenance studies have focused mainly on mathematical interval calculation, while limited attention has been given to maintenance ledger quality as the basis for reliability analysis and periodic replacement decisions. **Aims:** This study aimed to analyze maintenance ledger data, identify critical packing machine components, calculate reliability parameters, and determine optimal periodic replacement intervals. **Results:** The pusher and lifting components were identified as critical components because they recorded high failure frequency and downtime contribution. Before the proposed system, pusher failure occurred 7 times with 206 minutes of downtime, while lifting failure occurred 6 times with 121 minutes of downtime. The Mean Time to Failure was 82.285 minutes for pusher and 74.600 minutes for lifting. The optimal periodic replacement interval was 51 days for pusher and 47 days for lifting. **Novelty:** This study positions maintenance ledger data as the decision basis for periodic replacement in packing machine maintenance. **Implications:** The findings support planned preventive maintenance, reduced breakdown potential, improved production stability, and more systematic machine reliability management.

#### Highlights:

- Pusher and lifting were identified as the most critical components.
- MTTF reached 82.285 minutes for pusher and 74.600 minutes for lifting.
- Scheduled replacement was set at 51 days and 47 days.

**Keywords:** Breakdown, Maintenance Ledger, Mean Time To Failure (MTTF) Periodic Replacement, Preventive Maintenance

Published date: 2026-06-22

## Pendahuluan

Industri manufaktur modern dituntut untuk mampu mempertahankan stabilitas proses produksi melalui sistem operasi yang efisien, adaptif, dan memiliki tingkat keandalan tinggi. Dalam lingkungan produksi dengan kapasitas besar, keberlangsungan operasi mesin menjadi faktor utama yang menentukan produktivitas perusahaan. Gangguan pada mesin produksi dapat menyebabkan penurunan *output*, meningkatnya biaya operasional, pemborosan waktu produksi, hingga keterlambatan pengiriman produk kepada konsumen [1]. Selain berdampak pada aspek produksi, *downtime* mesin juga berpengaruh terhadap efisiensi penggunaan sumber daya, kualitas produk, serta kemampuan perusahaan dalam mempertahankan daya saing industri manufaktur yang semakin kompetitif [2]. Oleh karena itu, perusahaan perlu menerapkan strategi pemeliharaan yang terencana dan berbasis data guna menjaga kontinuitas operasional mesin produksi.

Dalam sistem manufaktur modern, mesin *packing* memiliki peran yang sangat penting karena berada pada tahap akhir proses produksi sebelum produk dikirim kepada pelanggan. Mesin *packing* tidak hanya berfungsi sebagai alat pengemasan, tetapi juga berperan dalam menjaga kualitas, keamanan, dan konsistensi produk selama proses distribusi [3]. Ketika terjadi gangguan pada mesin *packing*, aliran produksi dapat terhambat sehingga menimbulkan penumpukan produk setengah jadi, peningkatan waktu tunggu, serta terganggunya target produksi perusahaan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa *reliability* mesin *packing* menjadi salah satu faktor penting dalam mendukung efektivitas sistem produksi secara keseluruhan [4].

PT XYZ merupakan perusahaan manufaktur keramik yang menggunakan Easyline Packing Machine sebagai mesin utama dalam proses pengemasan produk. Mesin ini dioperasikan secara terus-menerus untuk memenuhi kebutuhan produksi yang cukup tinggi. Berdasarkan data *maintenance ledger* tahun 2025, masih ditemukan beberapa kerusakan yang terjadi berulang pada mesin *packing*, terutama pada komponen *pusher* dan *lifting*. Kerusakan tersebut menyebabkan *downtime* produksi dengan durasi yang berbeda-beda dan berdampak langsung terhadap efektivitas kegiatan operasional perusahaan.

Frekuensi kerusakan yang tinggi pada komponen tertentu menunjukkan adanya indikasi penurunan tingkat keandalan mesin akibat faktor usia peralatan, beban kerja yang tinggi, serta belum optimalnya sistem pemeliharaan yang diterapkan perusahaan. Selama ini, metode pemeliharaan yang digunakan masih didominasi oleh *corrective maintenance*, yaitu tindakan perbaikan yang dilakukan setelah mesin mengalami kerusakan [5]. Pendekatan tersebut menyebabkan perusahaan sulit mengontrol *downtime*, meningkatkan biaya perbaikan mendadak, serta menurunkan efektivitas proses produksi. Selain itu, *corrective maintenance* sering kali mengakibatkan penghentian proses produksi secara tidak terencana sehingga perusahaan mengalami kerugian akibat hilangnya waktu produksi dan meningkatnya biaya pemeliharaan [6].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perusahaan membutuhkan strategi *preventive maintenance* yang lebih sistematis dan berbasis data historis kerusakan mesin. Salah satu sumber informasi yang berperan penting dalam sistem pemeliharaan adalah *maintenance ledger*. Dokumen ini memuat riwayat aktivitas perawatan mesin, seperti waktu terjadinya kerusakan, lama proses perbaikan, komponen yang mengalami kegagalan, serta tindakan perbaikan yang telah dilakukan [7]. Informasi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai dasar untuk mengevaluasi tingkat keandalan mesin sekaligus mendukung penyusunan strategi pemeliharaan yang lebih efektif dan terencana.

Melalui *maintenance ledger*, perusahaan dapat menghitung berbagai parameter *reliability* seperti *Mean Time to Failure* (MTTF), *Mean Time Between Failure* (MTBF), dan *failure rate* untuk mengetahui pola kerusakan mesin secara kuantitatif [8]. Nilai *reliability* tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan interval *periodic replacement*. Metode *periodic replacement* dilakukan dengan mengganti komponen mesin pada interval tertentu sebelum terjadi kegagalan total sehingga risiko *breakdown* mendadak dapat ditekan [9]. Pendekatan ini dinilai lebih efektif dibandingkan *corrective maintenance* karena perusahaan dapat merencanakan aktivitas penggantian komponen secara terjadwal dan mengurangi *downtime* tidak terencana.

Penerapan *periodic replacement* juga memberikan manfaat terhadap peningkatan *availability* mesin, efisiensi biaya pemeliharaan, dan stabilitas proses produksi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *preventive maintenance* mampu meningkatkan keandalan mesin sekaligus menurunkan *downtime* produksi secara signifikan [10]. Selain itu, penggunaan data historis pemeliharaan terbukti dapat membantu perusahaan dalam menentukan jadwal penggantian komponen yang lebih optimal dan sesuai dengan kondisi aktual mesin [11].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada pendekatan matematis dalam menentukan interval pemeliharaan dan belum banyak membahas pentingnya kualitas *maintenance ledger* sebagai dasar pengambilan keputusan pemeliharaan [12]. Padahal, keakuratan dan kelengkapan data *maintenance* sangat memengaruhi hasil analisis *reliability* serta efektivitas kebijakan *periodic replacement* yang diterapkan perusahaan. *Maintenance ledger* yang tidak terdokumentasi dengan baik dapat menyebabkan kesalahan dalam menentukan interval penggantian komponen sehingga risiko *breakdown* tetap tinggi.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis *maintenance ledger* sebagai dasar penerapan *periodic replacement* guna mengurangi *breakdown* pada mesin *packing* di PT XYZ. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem *preventive maintenance* berbasis *reliability* sehingga perusahaan dapat meningkatkan keandalan mesin, mengurangi *downtime* produksi, dan meningkatkan efisiensi operasional secara berkelanjutan.

## Metode

### A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT XYZ yang berlokasi tepatnya di Jawa Timur, Penelitian ini dimulai pada bulan September 2025 hingga seluruh data yang digunakan dapat terpenuhi dengan sempurna.

### B. Alur Pemecahan Masalah

Proses pemecahan masalah serta tahapan penelitian pada studi ini dijelaskan melalui flowchart yang disajikan pada Gambar 1.

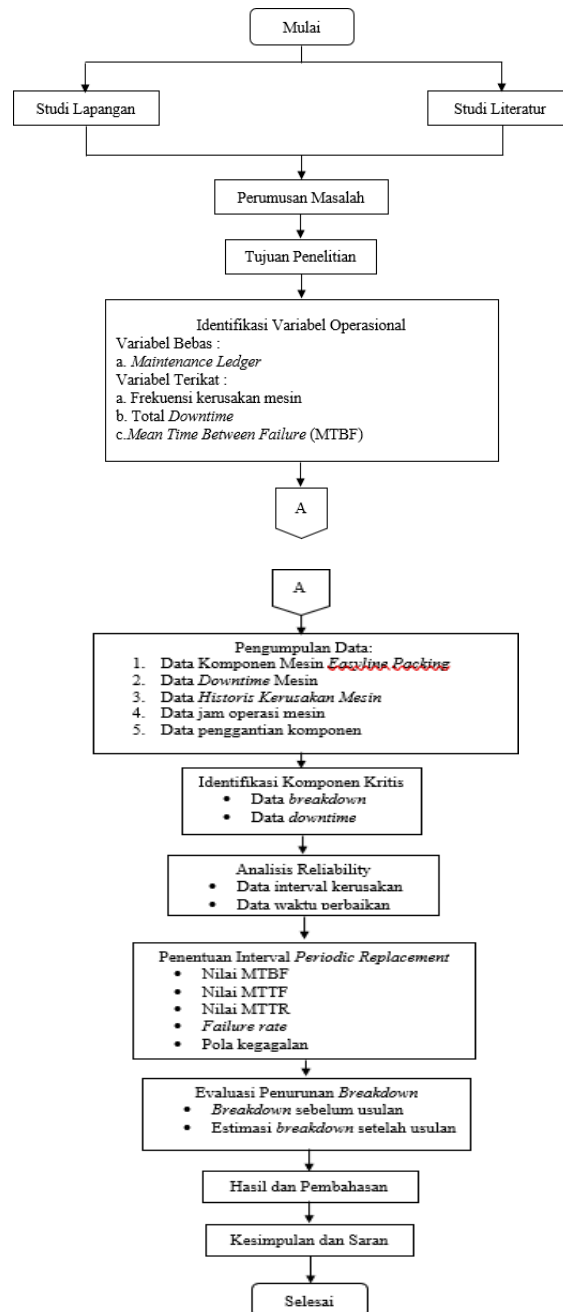


Figure 2. Langkah-Langkah Pemecahan Masalah

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pemecahan masalah pada penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Studi Lapangan

Tahap awal penelitian dilakukan dengan studi lapangan secara langsung pada objek penelitian untuk mengetahui kondisi aktual mesin, proses perawatan, serta permasalahan yang terjadi pada sistem produksi. Observasi dilakukan guna memperoleh informasi terkait frekuensi kerusakan mesin, downtime, dan aktivitas maintenance yang berlangsung di

perusahaan.

## 2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan referensi yang berkaitan dengan penelitian, seperti teori mengenai maintenance, reliability, preventive maintenance, periodic replacement, MTBF, MTTF, serta metode analisis kerusakan mesin. Literatur diperoleh dari jurnal, buku, artikel ilmiah, dan penelitian terdahulu yang relevan.

## 3. Perumusan Masalah

Berdasarkan hasil studi lapangan dan studi literatur, dilakukan identifikasi terhadap permasalahan utama yang terjadi pada mesin produksi, khususnya tingginya frekuensi kerusakan dan downtime mesin yang menyebabkan terganggunya proses produksi.

## 4. Penentuan Tujuan Penelitian

Tahap ini bertujuan untuk menentukan sasaran penelitian yang ingin dicapai, yaitu menganalisis tingkat keandalan mesin serta menentukan interval penggantian komponen yang optimal guna mengurangi breakdown dan downtime mesin.

## 5. Identifikasi Variabel Operasional

Pada tahap ini dilakukan penentuan variabel penelitian yang terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas meliputi *maintenance ledger*, sedangkan variabel terikat meliputi frekuensi kerusakan mesin, total downtime, dan *Mean Time Between Failure* (MTBF).

## 6. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui data primer dan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan. Data yang dikumpulkan meliputi:

- a. Data komponen mesin *forming packing*
- b. Data downtime mesin
- c. Data historis kerusakan mesin
- d. Data jam operasi mesin
- f. Data penggantian komponen

Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam analisis reliability dan penentuan interval penggantian komponen.

## 7. Identifikasi Komponen Kritis

Tahap ini dilakukan untuk menentukan komponen mesin yang paling sering mengalami kerusakan dan menyebabkan *downtime* tertinggi. Identifikasi dilakukan berdasarkan data breakdown dan data downtime mesin sehingga diperoleh komponen kritis yang memerlukan prioritas penanganan.

## 8. Analisis Reliability

Pada tahap ini dilakukan analisis keandalan terhadap komponen kritis menggunakan data interval kerusakan dan data waktu perbaikan. Analisis reliability bertujuan untuk mengetahui tingkat keandalan komponen selama periode operasi tertentu.

## 9. Penentuan Interval Periodic Replacement

Berdasarkan hasil analisis reliability, dilakukan penentuan interval penggantian komponen secara periodik menggunakan parameter:

- a. Mean Time Between Failure (MTBF)
- b. Mean Time To Failure (MTTF)
- c. Mean Time To Repair (MTTR)
- d. *Failure Rate*
- f. Pola kegagalan komponen

Tahap ini bertujuan untuk menentukan waktu penggantian komponen yang optimal sebelum terjadi kerusakan.

## 10. Evaluasi Penurunan Breakdown

Setelah interval penggantian ditentukan, dilakukan evaluasi terhadap penurunan breakdown mesin. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penerapan usulan *periodic replacement*, sehingga dapat diketahui estimasi penurunan breakdown dan downtime mesin.

## 11. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan pembahasan hasil analisis yang telah diperoleh, meliputi tingkat reliability komponen, interval penggantian optimal, serta dampak penerapan metode *periodic replacement* terhadap penurunan breakdown mesin.

## 12. Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir penelitian berupa penyusunan kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan serta pemberian saran untuk perusahaan maupun penelitian selanjutnya agar sistem perawatan mesin dapat berjalan lebih optimal.

## Hasil dan Pembahasan

### A. Pengumpulan Data

Sebelum dilakukan proses analisis reliability dan penentuan interval *periodic replacement*, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data historis kerusakan mesin *Easyline Packing* selama periode Januari 2025 hingga Desember 2025. Data tersebut diperoleh dari maintenance ledger perusahaan yang memuat informasi mengenai jenis komponen yang mengalami kerusakan, frekuensi *breakdown*, serta durasi *downtime* yang terjadi selama proses produksi. Ringkasan data kerusakan komponen mesin dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komponen Mesin Easyline Packing

Komponen Mesin	Kegunaan
<i>Lifting</i>	<i>Lifting</i> merupakan mekanisme pengangkat yang bekerja secara mekanis atau pneumatik untuk memindahkan posisi produk secara vertikal dalam proses produksi.
Selang <i>Pneumatic</i> 6x8 MM	Selang <i>Pneumatic</i> 6x8 MM merupakan Selang fleksibel dengan ukuran diameter 6x8 mm yang digunakan untuk mengalirkan udara bertekanan dari kompresor menuju komponen aktuator seperti silinder pneumatik.
<i>Alarm Small Flap</i>	<i>Alarm Small Flap</i> merupakan sebuah perangkat indikator berupa alarm yang berfungsi mendeteksi dan memberi sinyal apabila terjadi ketidaksesuaian posisi atau kegagalan pada mekanisme small flap.
<i>Filler Box</i>	<i>Filler Box</i> adalah Komponen berbentuk kotak yang digunakan sebagai wadah penampung produk sebelum diproses atau dipindahkan ke tahap berikutnya.
<i>Belt Sortir</i>	<i>Belt Sortir</i> yaitu Sabuk conveyor yang berfungsi untuk memindahkan produk sekaligus memisahkan produk berdasarkan kondisi tertentu dalam proses produksi.
Baut	Baut merupakan Elemen pengikat berbentuk ulir yang digunakan untuk menyambungkan serta menjaga kestabilan antar komponen mesin.
<i>Timing Belt</i>	<i>Timing Belt</i> adalah Sabuk bergerigi yang berfungsi mentransmisikan putaran dari motor ke komponen lain dengan tingkat presisi dan sinkronisasi yang tinggi.
<i>Teflon</i>	<i>Teflon</i> merupakan material yang memiliki koefisien gesek rendah sehingga sering digunakan sebagai lapisan maupun bantalan untuk mengurangi gesekan dan meminimalkan keausan pada komponen yang saling berkontak.
<i>Baut Pusher</i>	Baut <i>pusher</i> merupakan baut khusus yang berfungsi untuk mengikat serta menjaga posisi komponen <i>pusher</i> agar tetap stabil selama proses operasi berlangsung.
<i>Pusher</i>	<i>Pusher</i> merupakan komponen mekanis yang bergerak secara linear dan berfungsi untuk mendorong produk dari satu titik menuju titik lainnya pada jalur produksi.
<i>Motor Gearbox Belt</i>	<i>Motor Gearbox Belt</i> adalah Motor yang dilengkapi dengan gearbox untuk menghasilkan torsi yang sesuai dalam menggerakkan belt conveyor pada mesin.
<i>Flexibel Gripper</i>	<i>Flexibel Gripper</i> yaitu Alat penjepit yang bersifat fleksibel dan digunakan untuk memegang atau memindahkan produk tanpa merusak bentuknya
<i>Timing Belt Qualitron</i>	<i>Timing Belt Qualitron</i> yaitu Sabuk bergerigi yang digunakan dalam sistem <i>Qualitron</i> untuk memastikan pergerakan komponen berjalan secara presisi dan terkoordinasi.
<i>Motor Sortir</i>	<i>Motor sortir</i> merupakan motor penggerak yang berfungsi menjalankan sistem sortir sehingga produk dapat dipisahkan sesuai dengan kriteria tertentu.
<i>Pushing Plat</i>	<i>Pushing Plat</i> yaitu plat logam yang digunakan sebagai bidang pendorong untuk memindahkan produk dari satu posisi ke posisi lain dalam proses produksi.
<i>Alarm Undercage</i>	<i>Alarm Undercage</i> merupakan sebuah sistem alarm yang terpasang pada bagian bawah mesin untuk mendeteksi dan memberikan sinyal ketika terjadi gangguan operasional

# Academia Open

Vol. 11 No. 1 (2026): June

DOI: 10.21070/acopen.11.2026.14332

Komponen Mesin	Kegunaan
<i>Engkol Updown</i>	<i>Engkol Updown</i> adalah Mekanisme engkol yang berfungsi mengonversi gerakan rotasi menjadi gerakan vertikal naik turun pada bagian mesin tertentu.
<i>Small Flap</i>	<i>Small Flap</i> adalah Komponen penutup atau pengarah jalur yang berfungsi mengontrol arah pergerakan produk pada sistem mesin. Berfungsi sebagai penutup atau pengarah jalur produk pada proses pemindahan.
<i>Baut Support</i>	Baut yang digunakan untuk mengikat bagian penopang atau rangka agar struktur mesin tetap kokoh dan stabil saat beroperasi.
<i>Big Small pin</i>	Pin atau pasak logam yang berfungsi sebagai pengunci pada sambungan mekanis sehingga komponen tetap berada pada posisinya. Berfungsi sebagai pengunci atau poros kecil pada sambungan mekanis komponen mesin.
<i>Baut as silinder pneumatic guide dico</i>	Baut yang digunakan untuk mengikat poros silinder pneumatik pada sistem guide agar pergerakan silinder tetap stabil dan presisi yang berfungsi untuk Menahan posisi as silinder pneumatik.

Tabel 2 menunjukkan data historis *breakdown* mesin *Easyline Packing* yang meliputi waktu *downtime* dan komponen yang mengalami kerusakan selama periode pengamatan. Data tersebut digunakan sebagai *input* dalam analisis keandalan mesin dan penentuan *periodic replacement*.

**Tabel 2.** Data Waktu Kerusakan dan Perbaikan Mesin

No	Tanggal	Downtime (Menit)	Sparepart
1	13/01/2025	15 Menit	<i>Lifting</i>
2	16/01/2025	20 Menit	<i>Selang Pneumatic 6x8 mm</i>
3	20/01/2025	25 Menit	<i>Alarm Small Flap</i>
4	06/02/2025	35 Menit	<i>Filler Box</i>
5	07/02/2025	15 Menit	<i>Belt Sortir</i>
6	09/02/2025	50 Menit	<i>Pusher</i>
7	09/02/2025	20 Menit	<i>Baut</i>
8	23/03/2025	20 Menit	<i>Timing Belt</i>
9	25/03/2025	15 Menit	<i>Lifting</i>
10	09/04/2025	15 Menit	<i>Teflon</i>
11	24/04/2025	20 Menit	<i>Baut Pusher</i>
12	25/04/2025	20 Menit	<i>Pusher</i>
13	03/05/2025	150 Menit	<i>Motor Geabox Belt</i>
14	11/05/2025	35 Menit	<i>Flexibel Gripper</i>
15	13/05/2025	30 Menit	<i>Timing Belt Qualitron</i>
16	30/05/2025	45 Menit	<i>Lifting</i>
17	05/06/2025	20 Menit	<i>Motor Sortir</i>
18	20/06/2025	20 Menit	<i>Pushing Plat</i>
19	06/07/2025	45 Menit	<i>Alarm Undercage</i>
20	10/07/2025	20 Menit	<i>Pusher</i>
21	13/07/2025	15 Menit	<i>Engkol Updown</i>
22	27/07/2025	50 Menit	<i>Lifting</i>
23	28/08/2025	15 Menit	<i>Pusher</i>
24	03/09/2025	40 Menit	<i>Pusher</i>
25	10/09/2025	25 Menit	<i>Lifting</i>
26	11/10/2025	15 Menit	<i>Baut Support</i>

# Academia Open

Vol. 11 No. 1 (2026): June  
DOI: 10.21070/acopen.11.2026.14332

No	Tanggal	Downtime (Menit)	Sparepart
27	12/10/2025	25 Menit	<i>Big Small Pin</i>
28	14/11/2025	36 Menit	<i>Pusher</i>
29	18/11/2025	25 Menit	<i>Pusher</i>
30	15/12/2025	25 Menit	Baut as silinder pneumatik guide dico

Tabel 3 menunjukkan riwayat kerusakan komponen pada mesin Easyline Packing berdasarkan maintenance ledger perusahaan selama periode pengamatan. Informasi mengenai jenis kerusakan pada masing-masing sparepart digunakan sebagai dasar untuk menganalisis penyebab breakdown dan menentukan prioritas tindakan preventive maintenance pada komponen kritis mesin.

**Tabel 3.** Data Kerusakan Komponen Mesin

No	Tanggal	Sparepart	Jenis Kerusakan
1	13/01/2025	<i>Lifting</i>	<i>Lifting</i> mengalami kemacetan
2	16/01/2025	<i>Selang Pneumatic 6x8 mm</i>	Selang bocor udara
3	20/01/2025	<i>Alarm Small Flap</i>	Sensor tidak terdeteksi
4	06/02/2025	<i>Filler Box</i>	Sorok filler box patah
5	07/02/2025	<i>Belt Sortir</i>	Belt Sortir Putus
6	09/02/2025	<i>Pusher</i>	Pusher mengalami Aus
7	09/02/2025	<i>Baut</i>	Baut Big Flap Hilang
8	23/03/2025	<i>Timing Belt</i>	<i>Timing Belt</i> Aus dan Longgar
9	25/03/2025	<i>Lifting</i>	<i>Lifting</i> belakang tersangkut
10	09/04/2025	<i>Teflon</i>	<i>Teflon</i> pada bagian tikungan mengalami keausan
11	24/04/2025	<i>Baut Pusher</i>	<i>Pusher</i> mengalami anjlok sebanyak dua kali yang disebabkan oleh keausan pada rack <i>pusher</i> dan komponen nadela
12	25/04/2025	<i>Pusher</i>	<i>Pusher</i> aus
13	03/05/2025	<i>Motor Geabox Belt</i>	Terjadi kemacetan pada motor <i>gearbox</i> belt panjang Easyline
14	11/05/2025	<i>Flexibel Gripper</i>	Komponen <i>flexible gripper</i> mengalami putus
15	13/05/2025	<i>Timing Belt Qualitron</i>	<i>Timing belt</i> pada sistem <i>Qualitron</i> mengalami pelepasan dan terjepit pada mekanisme mesin.
16	30/05/2025	<i>Lifting</i>	<i>Lifting</i> Macet
17	05/06/2025	<i>Motor Sortir</i>	<i>Motor sortir</i> tidak dapat beroperasi secara normal akibat kemacetan.
18	20/06/2025	<i>Pushing Plat</i>	<i>Pushing Plat</i> Anjlok
19	06/07/2025	<i>Alarm Undercage</i>	<i>Tile</i> menumpuk bawah
20	10/07/2025	<i>Pusher</i>	<i>Pusher</i> mengalami Kemacetan
21	13/07/2025	<i>Engkol Updown</i>	<i>Engkol updown</i> tidak aktif

# Academia Open

Vol. 11 No. 1 (2026): June  
DOI: 10.21070/acopen.11.2026.14332

No	Tanggal	Sparepart	Jenis Kerusakan
22	27/07/2025	Lifting	Lifting tidak presisi
23	28/08/2025	pusher	Pusher mengalami ke aus an
24	03/09/2025	Pusher	Pusher mengalami kemacetan
25	10/09/2025	Lifting	Lifting lambat
26	11/10/2025	Baut Support	Baut Support terlepas
27	12/10/2025	Big Small Pin	Pin nadela patah
28	14/11/2025	Pusher	Pusher error
29	18/11/2025	Pusher	Pusher anjlok
30	15/12/2025	Baut as silinder pneumatik guide dico	Baut gearbox putus

Tabel 4 menunjukkan hasil rekapitulasi data waktu antar kerusakan (*Time to Failure*) dan waktu perbaikan (*Time to Repair*) pada komponen pusher mesin *Easyline Packing*. Data ini digunakan untuk menghitung parameter keandalan mesin seperti MTTF, MTBF, dan failure rate dalam proses penentuan kebijakan *periodic replacement*.

**Tabel 4.** Data TTF (Time to Failure) dan TTR (Time To Repair) Komponen Pusher

No	Tanggal	Waktu Mulai Perbaikan	Waktu Selesai Perbaikan	TTF ( <i>Time to Failure</i> ) (Menit)	TTR ( <i>Time To Repair</i> ) (Menit)
1	09/02/2025	09.10	10.00	-	50
2	25/04/2025	10.00	10.20	97.920	20
3	10/07/2025	10.30	10.50	120.960	20
4	28/08/2025	08.50	09.05	59.040	15
5	03/09/2025	09.05	09.45	188.640	40
6	14/11/2025	10.10	10.46	103.680	36
7	18/11/2025	13.15	13.25	5.760	25
Total				576.500	206

Tabel 5 menunjukkan hasil rekapitulasi data *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) pada komponen *lifting* berdasarkan data historis *maintenance ledger* perusahaan. Informasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam perhitungan parameter *reliability* dan evaluasi kebijakan *preventive maintenance* pada mesin *Easyline Packing*.

**Tabel 5.** Data TTF (Time to Failure) dan TTR (Time To Repair) Komponen Lifting

No	Tanggal	Waktu Mulai Perbaikan	Waktu Selesai Perbaikan	TTF ( <i>Time to Failure</i> ) (Menit)	TTR ( <i>Time To Repair</i> ) (Menit)
1	13/01/2025	13.30	13.45	-	15

No	Tanggal	Waktu	Waktu	TTF	TTR
		Mulai Perbaikan	Selesai Perbaikan	( <i>Time to Failure</i> ) (Menit)	( <i>Time To Repair</i> ) (Menit)
2	25/03/2025	10.40	11.00	102.240	20
3	30/05/2025	11.10	11.35	95.040	25
4	27/07/2025	09.40	09.56	83.520	16
5	10/09/2025	10.35	11.00	64.800	25
6	19/11/2025	13.15	13.30	100.800	15
Total				446.400	121

### C. Pengolahan Data

Tabel 6 menunjukkan distribusi 1 menunjukkan hasil pengujian distribusi terhadap waktu *downtime* komponen (*Time to Repair* atau TTR), sedangkan Distribusi 2 menunjukkan pengujian distribusi terhadap interval waktu antar kerusakan komponen (*Time to Failure* atau TTF).

**Tabel 6.** Hasil Uji Distribusi

Komponen	Keterangan	Jenis Distribusi	Parameter	
			$\beta$ (Shape)	$n$ (Scale)
Pusher	Distribusi 1	<i>Weibull</i>	1.47968	104242
	Distribusi 2	<i>Weibull</i>	2.71027	332387
Lifting	Distribusi 1	<i>Weibull</i>	8.82895	949106
	Distribusi 2	<i>Weibull</i>	4.93145	211080

Hasil pengujian distribusi pada Tabel 4 memperlihatkan bahwa data kerusakan pada komponen *pusher* dan *lifting* paling sesuai dimodelkan menggunakan distribusi *Weibull* karena distribusi ini mampu merepresentasikan karakteristik kegagalan komponen secara lebih adaptif terhadap kondisi operasi mesin di lapangan [13]. Distribusi *Weibull* memiliki dua parameter penting, yaitu *shape parameter* ( $\beta$ ) dan *scale parameter* ( $\eta$ ), di mana nilai  $\beta$  digunakan untuk menggambarkan kecenderungan laju kerusakan, sedangkan  $\eta$  menunjukkan estimasi umur karakteristik komponen sebelum tingkat kegagalannya meningkat [14]. Berdasarkan hasil perhitungan, seluruh nilai  $\beta$  pada kedua komponen berada di atas satu, yaitu sebesar 1,47968 dan 2,71027 pada *pusher*, serta 8,82895 dan 4,93145 pada *lifting*. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa pola kerusakan yang terjadi termasuk kategori *wear out failure*, yaitu kegagalan akibat penurunan kondisi komponen karena pemakaian terus-menerus dalam proses produksi [15]. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu operasi mesin, maka probabilitas terjadinya kerusakan juga semakin meningkat [16]. Sementara itu, nilai  $\eta$  yang diperoleh menunjukkan bahwa setiap komponen memiliki batas umur operasi tertentu sebelum memasuki fase degradasi yang lebih tinggi [17]. Dengan demikian, kerusakan yang terjadi pada mesin *packing* tidak bersifat acak, tetapi dipengaruhi oleh faktor keausan dan penurunan performa komponen selama digunakan secara kontinu [18]. Penggunaan distribusi *Weibull* dalam penelitian ini dipandang lebih tepat dibandingkan distribusi normal maupun eksponensial karena distribusi normal mengasumsikan data bersifat simetris, sedangkan distribusi eksponensial menganggap tingkat kerusakan selalu konstan [19]. Karakteristik tersebut tidak sesuai dengan kondisi aktual mesin *packing* yang menunjukkan peningkatan laju kegagalan seiring bertambahnya umur operasi komponen. Oleh sebab itu, distribusi *Weibull* dinilai lebih efektif untuk mendukung analisis *reliability* dan penentuan interval *periodic replacement* agar jadwal penggantian komponen dapat dilakukan secara lebih akurat dan terencana [20].

### D. Analisis Akar Penyebab Kerusakan

Berdasarkan analisis *maintenance ledger* dan histori kerusakan pada mesin *packing*, diketahui bahwa komponen *pusher* dan *lifting* merupakan komponen paling kritis karena memiliki frekuensi kerusakan dan kontribusi *downtime* tertinggi, sehingga diperlukan evaluasi lebih lanjut untuk mengetahui faktor penyebab terjadinya *breakdown* secara berulang [21]. Untuk

mengidentifikasi sumber permasalahan tersebut, digunakan metode *fishbone diagram* (*cause and effect diagram*) yang mengelompokkan penyebab kerusakan ke dalam aspek manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan sebagai dasar dalam penyusunan strategi pemeliharaan yang lebih efektif guna meningkatkan reliability mesin dan menekan downtime produksi [22].

1. Komponen Lifting



Figure 3. Diagram Fishbone Komponen Lifting

Berdasarkan diagram *fishbone*, kerusakan komponen *lifting* dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu mesin, material, *man*, metode, dan *environment*. Dari sisi mesin, kerusakan disebabkan oleh umur komponen yang mendekati limit pemakaian, set up mesin yang tidak sesuai dengan operasional, serta keausan pada belt dan transmisi. Dari sisi material, kurangnya pelumasan pada bagian gesekan dan keausan material komponen mempercepat terjadinya kerusakan. Dari sisi *man*, operator kurang teliti dalam memonitor kondisi mesin, keterlambatan mendeteksi kerusakan, serta inspeksi rutin yang belum optimal turut menjadi penyebab kerusakan komponen. Dari sisi metode, *maintenance* masih bersifat *corrective* dan belum terdapat jadwal penggantian komponen secara terencana sehingga perbaikan dilakukan setelah terjadi kerusakan. Selain itu, dari sisi *environment*, area mesin yang kurang bersih dan adanya debu produksi menyebabkan kinerja komponen menurun dan mempercepat keausan pada komponen *lifting*.

2. Komponen Pusher



Figure 4. Diagram Fishbone Komponen Lifting

Berdasarkan diagram *fishbone*, kerusakan komponen *pusher* dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu mesin, material, *man*, metode, dan *environment*. Dari sisi mesin, kerusakan terjadi akibat beban berlebih, set up mesin yang tidak sesuai dengan operasional, serta keausan pada belt dan transmisi. Dari sisi material, kurangnya pelumasan pada bagian gesekan dan rendahnya kualitas material komponen menyebabkan komponen lebih cepat mengalami kerusakan. Dari sisi *man*, operator kurang teliti dalam memonitor kondisi mesin, keterlambatan dalam mendeteksi kerusakan mesin, serta inspeksi rutin yang belum optimal turut memengaruhi terjadinya kerusakan komponen. Dari sisi metode, belum adanya jadwal penggantian komponen dan identifikasi masalah yang tidak berjalan dengan baik menyebabkan kerusakan tidak dapat dicegah lebih awal. Selain itu, dari sisi *environment*, area mesin yang tidak bersih dan adanya serpihan barang jadi di sekitar mesin dapat mengganggu kinerja komponen sehingga mempercepat terjadinya kerusakan pada komponen *pusher*.

E. Penentuan Interval Periodic Replacement

Setelah dilakukan perhitungan parameter keandalan seperti *Mean Time To Failure* (MTTF), *Mean Time To Repair* (MTTR), *Mean Time Between Failure* (MTBF), dan *failure rate*, tahapan berikutnya adalah menentukan *interval periodic replacement*

pada komponen kritis mesin packing, yaitu *pusher* dan *lifting*, karena kedua komponen tersebut memiliki tingkat kerusakan yang tinggi serta berpengaruh besar terhadap peningkatan downtime produksi [23]. Penentuan interval penggantian dilakukan menggunakan pendekatan *preventive maintenance*, yaitu dengan menjadwalkan penggantian komponen sebelum mencapai rata-rata waktu kegagalan agar potensi *unexpected failure* dapat ditekan dan kestabilan proses produksi tetap terjaga [24]. Dalam implementasinya, interval penggantian komponen umumnya ditetapkan berdasarkan persentase tertentu dari nilai MTTF sebagai batas aman operasi komponen, sehingga penggantian dapat dilakukan sebelum komponen memasuki kondisi kritis [25]. Oleh sebab itu, penelitian ini menetapkan interval penggantian sebesar 90% dari nilai MTTF masing-masing komponen sebagai langkah preventif untuk meningkatkan reliability mesin sekaligus menjaga efisiensi biaya pemeliharaan [26].

## 1. Komponen Pusher

Berdasarkan hasil analisis *reliability*, diketahui bahwa nilai MTTF komponen *pusher* sebesar 82,285 menit. Maka interval *periodic replacement* komponen *pusher* adalah:

$$T_p = 0,9 \times MTTF \tag{1}$$

$$T_p = 0,9 \times 82,285 = 74,0565 \tag{2}$$

Jika dikonversi ke dalam satuan hari:

$$74,0565 \div 1440 = 51.428 \text{ hari} \tag{3}$$

Dengan demikian, interval penggantian berkala yang diusulkan untuk komponen *pusher* adalah setiap 51 hari. Interval ini dipilih agar komponen diganti sebelum mencapai rata-rata waktu kegagalan, sehingga potensi kerusakan mendadak dapat ditekan.

## 2. Komponen Lifting

Berdasarkan hasil analisis *reliability*, diketahui bahwa nilai MTTF komponen *Lifting* sebesar 74,600 menit. *periodic replacement* komponen *Lifting* adalah:

$$T_p = 0,9 \times MTTF \tag{4}$$

$$T_p = 0,9 \times 74,600 = 67.140 \tag{5}$$

Jika dikonversi ke dalam satuan hari:

$$67.140 \div 1440 = 46,625 \text{ hari} \tag{6}$$

Dengan demikian, interval penggantian berkala yang diusulkan untuk komponen *lifting* adalah setiap 47 hari.

Tabel 7 menunjukkan hasil analisis *reliability* berupa nilai Mean Time to Failure (MTTF) serta usulan interval *periodic replacement* pada komponen *pusher* dan *lifting*. Data tersebut digunakan untuk menentukan waktu penggantian komponen yang optimal guna meningkatkan keandalan mesin dan meminimalkan downtime produksi.

**Tabel 7.** Waktu Optimal Periodic Replacement

Komponen	MTTF (Menit)	Interval Replacement (Menit)
Pusher	82.285	74,0565
Lifting	74.600	67,140

Tabel 8 menunjukkan jadwal usulan pergantian komponen *pusher* yang disusun berdasarkan hasil perhitungan interval *periodic replacement*. Penjadwalan tersebut bertujuan untuk meningkatkan keandalan mesin serta meminimalkan downtime akibat kerusakan komponen selama proses operasional berlangsung.

**Tabel 8.** Jadwal Usulan Pergantian Komponen Pusher

No	Siklus Penggantian	Hari Ke
1	Penggantian Ke-1	51
2	Penggantian Ke-2	102
3	Penggantian Ke-3	153

No	Siklus Penggantian	Hari Ke
4	Penggantian Ke-4	204
5	Penggantian Ke-5	255
6	Penggantian Ke-6	306
7	Penggantian Ke-7	357

Tabel 9 menunjukkan usulan jadwal pergantian komponen lifting yang disusun berdasarkan interval periodic replacement yang telah ditentukan. Penjadwalan ini bertujuan untuk menjaga tingkat keandalan komponen serta meminimalkan downtime tidak terencana pada proses produksi.

**Tabel 9.** Jadwal Usulan Pergantian Komponen Lifting

No	Siklus Penggantian	Hari Ke
1	Penggantian Ke-1	47
2	Penggantian Ke-2	94
3	Penggantian Ke-3	141
4	Penggantian Ke-4	188
5	Penggantian Ke-5	235
6	Penggantian Ke-6	282
7	Penggantian Ke-7	329

## F. Evaluasi Usulan Perbaikan

Setelah dilakukan penentuan interval penggantian komponen menggunakan metode periodic replacement, tahap berikutnya adalah melakukan evaluasi terhadap usulan perbaikan untuk mengetahui efektivitas penerapannya dalam mengurangi frekuensi breakdown dan downtime pada mesin packing. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penerapan jadwal penggantian komponen yang disusun berdasarkan data historis kerusakan pada maintenance ledger serta hasil analisis keandalan komponen. Sebelum usulan diterapkan, sistem pemeliharaan pada mesin packing masih menggunakan pendekatan corrective maintenance, sehingga tindakan perbaikan baru dilakukan setelah terjadi kerusakan dan mengakibatkan downtime yang tidak terencana. Berdasarkan data kerusakan selama periode Januari–Desember 2025, komponen pusher dan lifting tercatat sebagai komponen yang paling sering mengalami gangguan sehingga dikategorikan sebagai komponen kritis. Oleh karena itu, diterapkan metode periodic replacement sebagai usulan perbaikan guna mengurangi frekuensi kerusakan serta meningkatkan keandalan mesin packing. Perbandingan kondisi kerusakan komponen sebelum penerapan periodic replacement disajikan pada tabel berikut. Tabel 10 menampilkan rekapitulasi frekuensi kerusakan dan total downtime pada komponen pusher dan lifting sebagai komponen kritis pada mesin Easyline Packing. Data tersebut digunakan sebagai dasar evaluasi dalam menentukan prioritas tindakan preventive maintenance dan penerapan periodic replacement.

**Tabel 10.** Perbandingan Kondisi Kerusakan Komponen

Komponen	Frekuensi Kerusakan	Total Downtime (Menit)
<i>Pusher</i>	7	206
<i>Lifting</i>	6	121

Tabel 11 menyajikan perbandingan kondisi kerusakan komponen sebelum dan sesudah penerapan periodic replacement pada mesin Easyline Packing. Perbandingan tersebut meliputi frekuensi kerusakan, total downtime, dan sistem pemeliharaan yang digunakan untuk mengevaluasi efektivitas usulan preventive maintenance dalam mengurangi breakdown mesin.

**Tabel 11.** Perbandingan Kondisi Kerusakan Komponen Sebelum dan Sesudah Usulan

Kondisi	Komponen	Frekuensi Kerusakan (kali/tahun)	Total Downtime (jam/tahun)	Sistem Pemeliharaan
Sebelum Usulan	<i>Pusher</i>	7	3,5 Jam	<i>Corrective Maintenance</i>
Sebelum Usulan	<i>Lifting</i>	6	3,4 Jam	<i>Corrective Maintenance</i>
Setelah Usulan	<i>Pusher</i>	Menurun	Menurun	<i>Periodic Replacement</i>
Setelah Usulan	<i>Lifting</i>	Menurun	Menurun	<i>Periodic Replacement</i>

## Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa komponen *pusher* dan *lifting* merupakan komponen kritis pada mesin *packing* karena memiliki frekuensi kerusakan dan kontribusi downtime yang tinggi. Hasil analisis fishbone menunjukkan bahwa faktor machine dan method menjadi penyebab utama kerusakan akibat keausan komponen dan sistem pemeliharaan yang masih bersifat *corrective maintenance*. Selain itu, hasil perhitungan parameter keandalan menunjukkan nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) sebesar 82,285 menit untuk komponen *pusher* dan 74,600 menit untuk komponen *lifting*, sehingga diperoleh interval periodic replacement optimal selama 51 hari untuk *pusher* dan 47 hari untuk *lifting*. Penerapan periodic replacement terbukti mampu mengurangi potensi downtime, meningkatkan kestabilan proses produksi, serta menjadikan sistem pemeliharaan lebih preventif dan terencana. Oleh karena itu, pendekatan analisis keandalan dan *periodic replacement* dinilai efektif dalam meningkatkan kinerja pemeliharaan dan mendukung kelancaran proses produksi di PT XYZ.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT XYZ, khususnya bagian maintenance dan produksi, atas izin penelitian, dukungan data *maintenance ledger*, serta bantuan selama proses pengumpulan data kerusakan dan *downtime* mesin *Easyline Packing*. Dukungan tersebut sangat membantu dalam proses analisis *reliability* dan penyusunan usulan *periodic replacement* pada penelitian ini.

## References

- F. Fathurohman and S. Triyono, "RCM (Reliability Centered Maintenance): The Implementation in Preventive Maintenance (Case Study in an Expedition Company)," *Ekomabis: Jurnal Ekonomi Manajemen Bisnis*, vol. 1, no. 2, pp. 197–212, 2020, doi: 10.37366/ekomabis.v1i02.29.
- Y. Liu, H. Zhang, and T. Wang, "Reliability-Centered Preventive Maintenance Optimization Considering Time-Varying Failure Rates," *Symmetry*, vol. 16, no. 1, pp. 1–18, 2023, doi: 10.3390/sym16010016.
- R. M. Simanungkalit, S. Suliawati, and T. Hernawati, "Analisis Penerapan Sistem Perawatan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance pada Cement Mill," *Blend Sains Jurnal Teknik*, vol. 2, no. 1, pp. 72–83, 2023.
- X. Yang, J. Li, and Y. Zhao, "Mission Reliability-Centered Maintenance Approach Based on Quality Stochastic Flow," *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, vol. 24, no. 1, pp. 45–56, 2022. Available: <https://ein.org.pl/Mission-Reliability-Centered-Maintenance-Approach-Based-on-Quality-Stochastic,176629,0,2.html>
- A. B. Sulistyono and S. Muhlis, "Optimasi Perawatan Mesin Overhead Crane dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan FMEA," *Jurnal InTent*, vol. 5, no. 2, pp. 27–35, 2022.
- A. Benhanifia, "Systematic Review of Predictive Maintenance Practices in Manufacturing Industry," *Results in Engineering*, vol. 21, 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2025.101115.
- N. M. Hidayatulloh and T. Sukmono, "Determination of Production Instrumentation Equipment Maintenance Intervals in the Paper Industry," *PROZIMA*, vol. 4, no. 1, pp. 23–31, 2021, doi: 10.21070/prozima.v4i1.1270.
- I. Ramadhan and W. Widiasih, "Analisis Penggantian dan Perawatan pada Papermachine Bagian Wire dan Dryer Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance dan Age Replacement pada PT X," *Jurnal Tekstil dan Manajemen Industri*, vol. 6, no. 1, pp. 1–14, 2023.
- P. Rokhforoz and O. Fink, "Distributed Joint Dynamic Maintenance and Production Scheduling in Manufacturing Systems," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 59, pp. 541–556, 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2021.03.011.

# Academia Open

Vol. 11 No. 1 (2026): June

DOI: 10.21070/acopen.11.2026.14332

10. I. L. Kusminah, A. N. Rachmat, and D. A. Nurjanah, "Optimizing Small Excavator Maintenance Activity Planning Using Reliability-Centered Maintenance (RCM) Method II," *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, vol. 9, no. 1, pp. 208–217, 2024, doi: 10.12962/j25481479.v9i1.18879.
11. M. A. Bhatti, "Reliability-Centered Maintenance Strategies in Mechanical Systems and Their Impact on Operational Performance," *RME Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 55–68, 2025.
12. I. Ramadhan, "Optimalisasi Efektivitas Preventive Maintenance Berbasis Reliability," *Jurnal Integrasi Sistem Industri*, vol. 8, no. 2, pp. 88–97, 2024.
13. H. Prasetyo and A. Nugroho, "Analysis of Machine Downtime Using Reliability and Maintenance Ledger Approach in Manufacturing Industry," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 25, no. 2, pp. 115–124, 2023.
14. D. P. Sari and F. Rahman, "Implementation of Fishbone Diagram for Root Cause Analysis in Preventive Maintenance Systems," *International Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 14, no. 1, pp. 44–53, 2024.
15. J. Wang, X. Li, and Y. Chen, "Preventive Maintenance Optimization Based on Reliability Analysis in Manufacturing Systems," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 60, pp. 287–296, 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2021.05.012.
16. A. Pramono and D. Setiawan, "Optimization of Periodic Replacement Policy Using Mean Time To Failure Approach in Industrial Machinery," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 24, no. 3, pp. 155–164, 2022.