

Strategy For Maintenance Of Sugar Factory X Grinding Machines Using Reliability centered maintenance (Rcm) And Engineering Economics Approach **[Strategi Perawatan Mesin Giling Pabrik Gula X Menggunakan Reliability centered maintenance (RCM) Dan Pendekatan Ekonomi Teknik]**

Bahrul Musyahadah¹⁾, Indah Apriliana Sari W.*²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*indahapriliana@umsida.ac.id

Abstract. *The milling machine plays a critical role in the sugar production process at Sugar Factory X, as it directly affects operational continuity. Although downtime during June-August 2025 was relatively low, frequent breakdowns posed risks to production stability. This study aims to determine the most appropriate maintenance strategy by integrating Reliability Centered Maintenance (RCM) and engineering economics analysis. Historical failure data were analyzed to obtain reliability, failure rate, MTBF, and MTTR, which served as the basis for identifying suitable maintenance actions. The RCM results indicated that bearings and rollers are the most critical components affecting machine performance. Economic evaluation showed that an age-based replacement strategy for bearings is feasible, with a Benefit Cost Ratio (BCR) of 1.37 and a Rate of Return (ROR) of 37%. Meanwhile, preventive replacement for rollers was not economically viable due to insufficient benefits compared to costs.*

Keywords - *milling machine; Reliability centered maintenance; engineering economics*

Abstrak. *Mesin giling merupakan bagian penting dalam proses produksi gula karena berpengaruh langsung terhadap kelancaran operasi pabrik. Penelitian ini bertujuan menentukan strategi perawatan optimal pada mesin giling di Pabrik Gula X dengan mengintegrasikan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan analisis ekonomi teknik. Data kerusakan periode Juni–Agustus 2025 menunjukkan 18 kejadian kerusakan dengan total downtime 33 jam. Hasil analisis menunjukkan reliability existing sebesar 43,7% dengan MTBF 120,8 jam dan MTTR 1,83 jam. Berdasarkan analisis RCM, komponen bearing dan roller diidentifikasi sebagai komponen kritis. Evaluasi ekonomi menunjukkan bahwa alternatif age replacement pada bearing menghasilkan BEP 7,69 jam dengan downtime yang dapat dihindari sebesar 9,5 jam serta ROR 37,2%, sehingga layak secara ekonomi. Sebaliknya, alternatif penggantian roller menghasilkan BEP 5,13 jam dan ROR -2,5% sehingga tidak layak diterapkan. Oleh karena itu, strategi age replacement pada bearing direkomendasikan untuk meningkatkan keandalan mesin dan efisiensi operasional.*

Kata Kunci - *mesin giling; Reliability centered maintenance; ekonomi teknik*

I. PENDAHULUAN

Pabrik gula X, salah satu pabrik gula nasional yang dikelola oleh PTPN X, terletak di desa Krembung, kecamatan Krembung, kabupaten Sidoarjo dan memproduksi gula[1]. Langkah pertama yang penting dalam produksi gula, terutama di pabrik gula X, adalah menggiling tebu. Saat ini, masalah operasional di pabrik gula X sering mengganggu aliran produksi secara keseluruhan. Waktu henti ini, yang sering terjadi pada mesin penggiling selama proses produksi, menyebabkan keterlambatan pada proses-proses berikutnya, termasuk pemurnian sari tebu, pengemasan gula, dan kristalisasi. Akhirnya, hal ini memengaruhi kemampuan perusahaan untuk memproduksi dan dapat menyebabkan potensi kerugian[2].

Berdasarkan data *reliability* dan *downtime* periode Juni hingga Agustus 2025, total *downtime* mesin giling tercatat sebanyak 18 kejadian dari keseluruhan waktu operasi selama 3 bulan. Secara umum, angka tersebut menunjukkan bahwa mesin masih berada dalam kondisi operasional yang relatif baik karena proporsi waktu berhenti cukup rendah. Namun demikian, frekuensi kerusakan yang terjadi dalam periode tersebut tergolong cukup sering dengan persentase 1,49%, meskipun durasi perbaikannya tidak selalu panjang tetapi perusahaan ingin lebih meminimalkan persentase kerusakan tersebut. Kondisi ini mengindikasikan bahwa mesin masih mengalami gangguan berulang yang berpotensi memengaruhi stabilitas proses produksi. Perusahaan sebelumnya telah menerapkan pemeliharaan preventif pada mesin, tetapi hasil yang diperoleh belum mampu meningkatkan kinerja secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan perawatan yang digunakan belum sepenuhnya tepat sasaran. Oleh karena itu, diperlukan metode yang

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

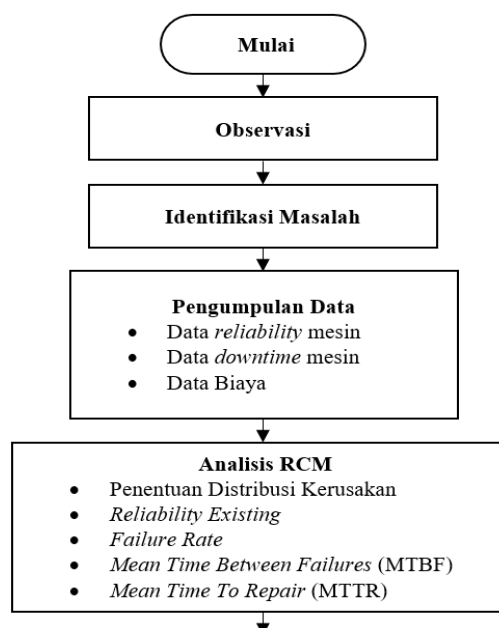
lebih sistematis dan berbasis analisis keandalan. Reliability Centered Maintenance (RCM) menjadi salah satu pendekatan yang relevan karena berfokus pada identifikasi fungsi utama sistem, potensi kegagalan, serta konsekuensi yang ditimbulkan, sehingga strategi perawatan dapat ditentukan secara lebih tepat dan efektif. Dengan cara ini, mesin dapat beroperasi dengan kinerja yang diharapkan selama jangka waktu yang ditetapkan. Selanjutnya, untuk dapat menilai dan membandingkan rencana perawatan potensial yang dihasilkan dari analisis RCM dari segi biaya, digunakan ekonomi teknik. Agar perusahaan dapat mengidentifikasi opsi perawatan yang paling hemat dan layak secara finansial, mereka dapat menggunakan metode ekonomi teknik untuk mengevaluasi biaya perawatan, waktu henti, dan penggantian *sparepart*.

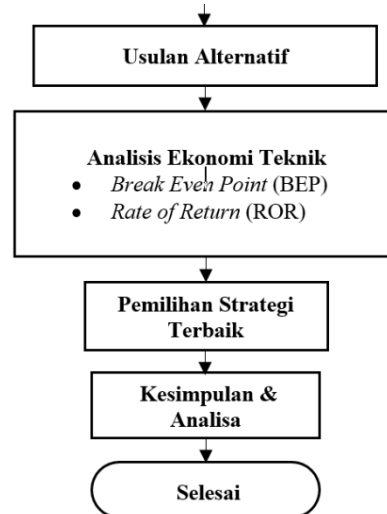
Beberapa penelitian mengenai *reliability centered maintenance* (RCM) telah dilakukan oleh sejumlah peneliti sebelumnya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa strategi pemeliharaan preventif berbasis risiko dapat membantu meningkatkan keandalan peralatan dengan menerapkan metode pemeliharaan reliabilitas terpusat (RCM) pada lima mesin injeksi di perusahaan yang memproduksi komponen karet[3]. Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa penerapan metode pemeliharaan reliabilitas terpusat (RCM) bersama dengan penggantian usia untuk menentukan interval penggantian yang ideal dalam upaya untuk mengurangi kerusakan mendadak[4]. Hasil penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa, karena *downtime* yang tinggi dan kinerja mesin yang belum optimal, penggunaan perawatan produk penuh (TPM) masih menghasilkan nilai efektivitas total mesin (OEE) yang rendah[5]. Hasil penelitian lain menunjukkan, penerapan *preventive maintenance* berbasis penjadwalan periodik pada *articulated dump truck* Komatsu HM400-3R mampu menjaga keandalan alat berat yang beroperasi 24 jam, gangguan operasional dan risiko penurunan produktivitas dapat diminimalkan[6]. Berdasarkan penelitian sebelumnya, kelebihan penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya adalah penggunaan *reliability centered maintenance* (RCM) yang dikombinasikan dengan analisis ekonomi teknik, sehingga strategi perawatan dan penggantian komponen tidak hanya ditentukan berdasarkan aspek keandalan, tetapi juga berdasarkan pertimbangan biaya dan manfaat yang paling ekonomis.

Produktivitas digunakan sebagai indikator untuk mengidentifikasi operasi yang tidak efisien yang dapat menyebabkan kerugian[7]. Tujuan dari studi ini adalah untuk menggabungkan analisis pemeliharaan berbasis keandalan (RCM) dengan metodologi rekayasa ekonomi untuk menghasilkan strategi pemeliharaan pabrik dengan rasio biaya-manfaat yang seefisien mungkin. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengurangi waktu henti mesin, meningkatkan keandalan proses produksi, dan mendukung operasi Pabrik Gula X secara lebih efisien dan berkelanjutan.

II. METODE

A. Flowchart Alur Penelitian





Gambar 1. Flowchart alur penelitian

B. Metode Reliability centered maintenance (RCM)

Pendekatan pemeliharaan berbasis keandalan (RCM) adalah salah satu metode untuk menentukan masalah mesin dan membuat rencana pemeliharaan. RCM digunakan dalam manajemen pemeliharaan untuk menentukan strategi pemeliharaan yang paling efektif berdasarkan keandalan komponen sistem[8]. Sesuai dengan konteks operasinya, teknik RCM adalah prosedur yang digunakan untuk menentukan apa yang perlu dilakukan agar peralatan fisik dapat terus berfungsi sesuai keinginan pengguna[9]. *Reliability centered maintenance* (RCM) dapat membantu mengurangi masalah mesin yang tidak terduga, memprioritaskan komponen penting dalam pemeliharaan peralatan, dan meningkatkan keandalan komponen[10].

C. Penentuan Distribusi Kerusakan

Penelitian dan penerapan taktik yang bertujuan untuk memastikan bahwa keandalan sistem secara konsisten dan efektif dipertahankan di seluruh komponen yang mempengaruhi kinerja keseluruhan disebut pembagian keandalan[9]. Pola kegagalan sering diidentifikasi menggunakan distribusi normal, lognormal, weibull, dan eksponensial. Pola keandalan dan sifat-sifat ini berasal dari distribusi tersebut[11]:

- Distribusi normal

$$R(t) = 1 - \phi \left[\frac{t - \mu}{\sigma} \right] \quad (1)$$

- Distribusi lognormal

$$R(t) = 1 - \phi \left[\frac{1}{\theta} \ln \frac{t}{t_{med}} \right] \quad (2)$$

- Distribusi weibull

$$R(t) = e - \left[\frac{t}{\theta} \right]^\beta \quad (3)$$

- Distribusi exponential

$$R(t) = e^{-t/\beta} \quad (4)$$

Sumber:[11].

Dimana:

$R(t)$: Tingkat keandalan pada waktu tertentu

t : Waktu atau periode pengamatan

t_{med} : Nilai tengah periode

μ : Rata-rata data

e : Konstanta eksponensial

β : Parameter bentuk distribusi

θ : Parameter skala distribusi

σ : Standar deviasi

\ln : Logaritma natural

ϕ : Nilai dari tabel distribusi normal

D. Reliability Existing

Keandalan mesin adalah salah satu faktor terpenting yang dapat memengaruhi keberhasilan proses produksi dan hasil akhirnya. Kemungkinan bahwa komponen mesin akan mampu berfungsi sesuai harapan dalam jangka waktu tertentu dapat ditentukan menggunakan keandalan ini. Berikut rumus perhitungan *reliability existing* berdistribusi normal[12]:

$$R(t) = 1 - \phi \left[\frac{t - \mu}{\sigma} \right] \quad (5)$$

Sumber:[11].

Dimana:

R(t) : *reliability function*
 ϕ : nilai tabel distribusi normal/normal
 t : waktu
 μ : *mean*/rata-rata
 σ : nilai standar deviasi

E. Failure Rate

Tingkat kegagalan sistem atau perangkat adalah seberapa sering terjadi kerusakan seiring waktu. Tingkat kegagalan biasanya diberikan dalam basis jam dan tahunan[13]. Frekuensi atau laju kerusakan dalam waktu disebut tingkat kegagalan. Perhitungan tingkat kegagalan adalah[14]:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{1}{2} Z^2 \right) \quad (6)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (7)$$

Sumber:[15].

Dimana:

λ : laju kerusakan
 f(t) : banyaknya kegagalan waktu operasi t
 R(t) : keandalan terhadap waktu
 t : waktu

F. Mean Time Between Failure (MTBF)

Rata-rata waktu di mana mesin beroperasi tanpa mengalami kerusakan disebut waktu rata-rata antar kerusakan (MTBF). MTBF berlaku untuk mesin yang dapat 'diperbaiki' setelah rusak. Perusahaan dapat menggunakan MTBF untuk menilai ketahanan dan ketersediaan produk atau peralatan mereka[16]. Dalam analisis keandalan, istilah yang paling sering digunakan mengacu pada rata-rata waktu antar kerusakan. Perhitungan MTBF distribusi normal dapat dihitung dengan rumus berikut[17]:

$$MTBF = \frac{\text{Total waktu operasi}}{\text{frekuensi kerusakan}} \quad (7)$$

Sumber:[18].

G. Mean Time To Repair (MTTR)

Waktu yang biasanya dibutuhkan untuk memperbaiki sistem atau perangkat setelah kerusakan ditentukan oleh metrik yang dikenal sebagai rata-rata waktu perbaikan (MTTR). Salah satu metrik penting dalam manajemen pemeliharaan adalah MTTR. MTTR menentukan waktu khas yang dibutuhkan untuk memperbaiki perangkat setelah kerusakan. Persamaannya adalah[19]:

$$MTTR = \frac{\text{Total Downtime}}{\text{Number of failures}} \quad (8)$$

Sumber:[16].

H. Ekonomi Teknik

Pada dasarnya, ekonomi rekayasa bertujuan untuk menilai kelayakan dan dampak finansial dari proyek dan investasi rekayasa. Komponen dasar dari ekonomi rekayasa adalah kemampuan untuk memahami nilai uang seiring waktu, melakukan analisis biaya dan manfaat, serta mengelola risiko pada proyek besar dan kompleks. Bidang ilmiah ekonomi rekayasa menggabungkan prinsip-prinsip ekonomi dengan praktik rekayasa untuk membantu pengambilan keputusan mengenai proyek rekayasa, investasi, dan manajemen[20].

I. Benefit cost ratio (BCR)

Break Even Point adalah tekni analisis yang digunakan untuk menentukan tingkat penjualan dan komposisi produk yang diperlukan hanya untuk menutup semua beban yang terjadi selama periode tertentu. Titik impas (Break Even Point) adalah titik dimana total beban sama dengan total pebghasilan. Dengan demikian , pada titik impas tidak ada laba maupun rugi yang diterima oleh perusahaan. Break even point merupakan suatu titik dimana perusahaan didalam operasinya tidak memperoleh keuntungan dan tidak menderita kerugian. dengan kata lain, pada keadaan itu

keuntungan atau kerugian sama dengan nol. Perhitungan break even point atas dasar unit dapat dilakukan dengan menggunakan rumus[21]:

$$BEP = \frac{FC}{P-V} \quad (9)$$

Sumber:[21].

Dimana:

FC : biaya tetap

P : nilai manfaat

V : biaya variabel per unit

J. Rate of Return (ROR)

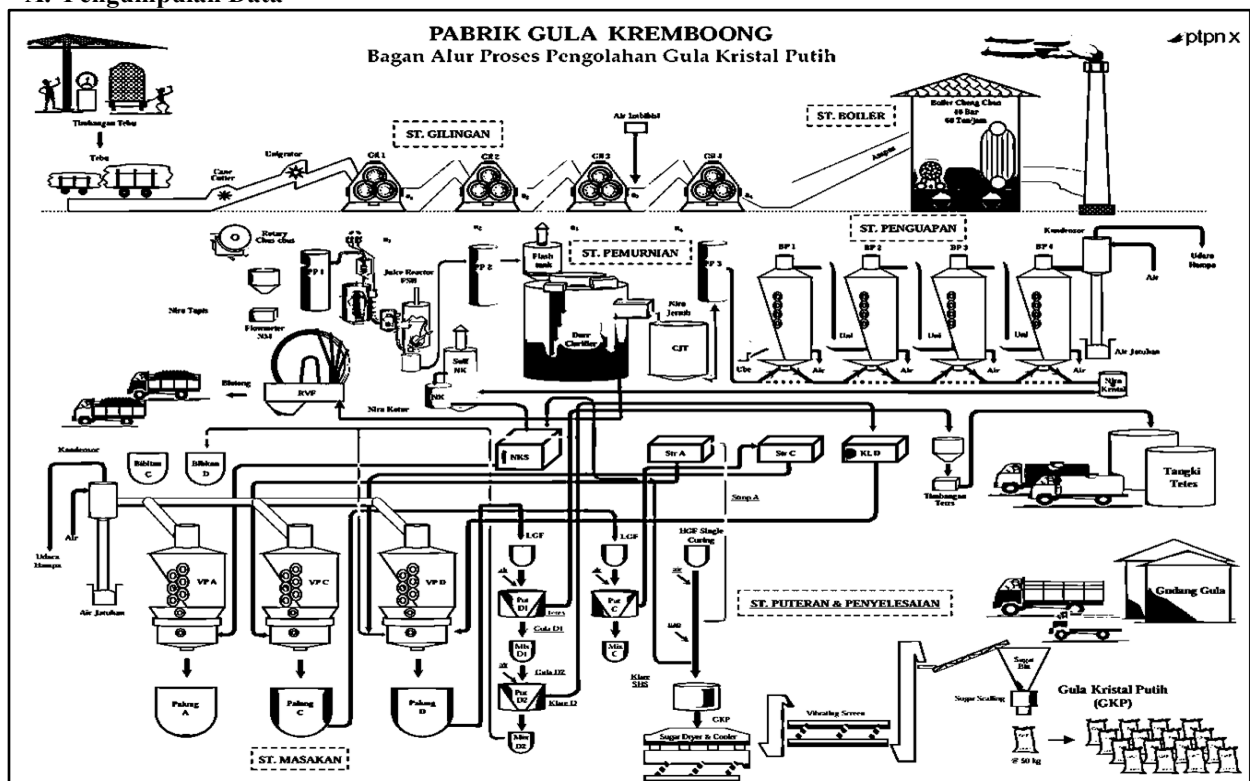
Tingkat pengembalian adalah rata-rata hasil dari investasi. Bersama dengan banyak faktor lainnya, investor secara alami mempertimbangkan tingkat pengembalian saat membuat keputusan. Tingkat pengembalian dapat dihitung menggunakan rumus ini[22]:

$$ROR = \frac{\text{Biaya Sekarang} - \text{Biaya awal}}{\text{Biaya awal}} \quad (11)$$

Sumber:[23].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data



Gambar 1. Proses Flow Diagram Produksi Gula

Langkah pertama dalam pembuatan gula kristal putih adalah menimbang tebu saat masuk ke pabrik. Kemudian tebu dicacah agar sari tebu dapat diperoleh dengan efisien dan struktur seratnya terbuka. Selanjutnya tebu yang telah dicacah digiling di stasiun penggilingan yang diatur secara berurutan. Untuk meningkatkan perolehan sari, ditambahkan air imbis. Dari langkah ini dihasilkan bagas, yang digunakan sebagai bahan bakar di stasiun ketel, dan sari mentah, bahan baku utama.

Setelah proses penggilingan, nira mentah dialirkan menuju stasiun pemurnian. Pada tahap ini, nira dipanaskan dan diberi perlakuan kimia untuk mengikat serta mengendapkan kotoran non-gula. Selanjutnya, nira jernih tersebut masuk ke stasiun penguapan. Melalui sistem evaporator bertingkat, kandungan air dalam nira dikurangi secara bertahap hingga terbentuk larutan kental berupa sirup. Sirup kemudian diproses di stasiun pemasakan menggunakan sistem kristalisasi vakum untuk membentuk kristal gula. Tahap akhir dilakukan pengeringan, penyaringan, dan pengemasan, sehingga dihasilkan gula kristal putih yang siap disimpan atau didistribusikan.

Tabel 1. Data Reliability Mesin Giling.

Tanggal Kerusakan Sebelumnya	Tanggal Kerusakan Berikutnya	TTF (jam)
05-06-2025	09-06-2025	96
09-06-2025	15-06-2025	144
15-06-2025	21-06-2025	144
21-06-2025	28-06-2025	168
28-06-2025	05-07-2025	168
05-07-2025	10-07-2025	120
10-07-2025	11-07-2025	24
11-07-2025	14-07-2025	72
14-07-2025	21-07-2025	168
21-07-2025	25-07-2025	96
25-07-2025	29-07-2025	96
29-07-2025	02-08-2025	96
02-08-2025	06-08-2025	96
06-08-2025	09-08-2025	72
09-08-2025	13-08-2025	96
13-08-2025	19-08-2025	144
19-08-2025	25-08-2025	144
25-08-2025	-	-

Tabel 2. Jenis Kerusakan Pada Mesin

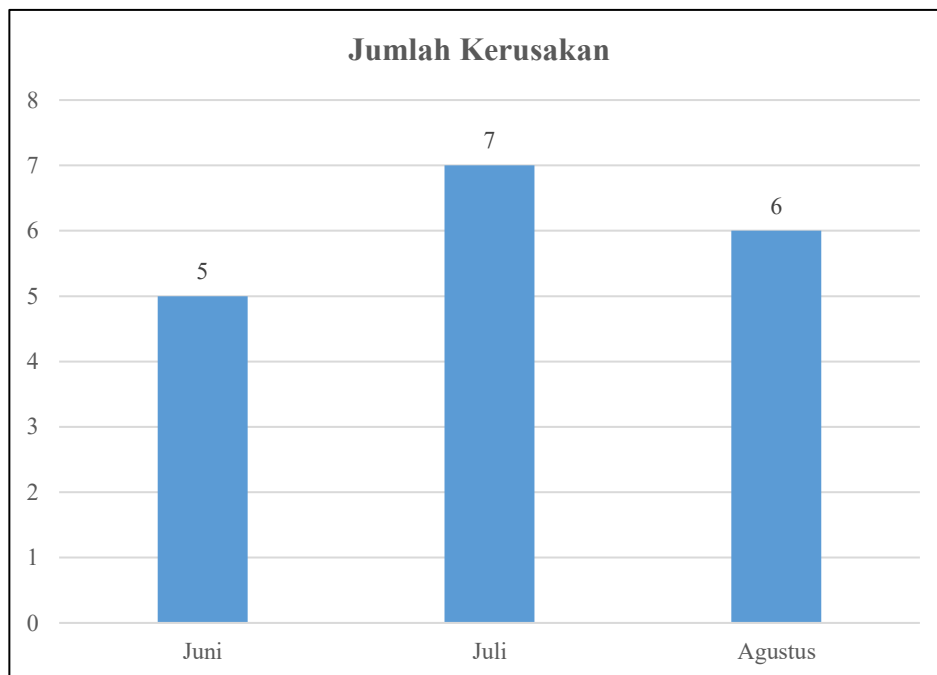
Bulan	Perbaikan/Penggantian	Downtime (jam)
Juni	<i>Roller</i>	1,0
	Motor penggerak	1,5
	V-belt	1,0
	Hidrolik	2,0
	<i>Bearing</i>	2,5
Juli	Pompa pendingin	2,0
	<i>Bearing</i>	1,5
	<i>Conveyor belt</i>	1,0
	Vibrasi tinggi	2,0
	Pipa pembuangan tersumbat	2,0
	<i>Bearing</i>	1,0
Agustus	Sensor suhu	1,5
	<i>Roller</i>	2,0
	Panel listrik	4,0
	<i>Roller</i>	1,5
	Kebocoran oli	2,0
	<i>Bearing</i>	3,0
	Hidrolik	1,5
Total		33

Berdasarkan Tabel 4, terdapat 18 kejadian kerusakan dengan *downtime* berkisar antara 1,0 hingga 4,0 jam. Kerusakan dengan durasi terlama terjadi pada panel listrik sebesar 4,0 jam, diikuti oleh beberapa kejadian pada bearing dengan *downtime* hingga 3,0 jam. Jika ditinjau berdasarkan jenis komponen, bearing dan *roller* merupakan komponen yang paling sering mengalami kerusakan dan memberikan kontribusi *downtime* yang signifikan dibandingkan komponen lainnya.

Tabel 3. Waktu Operasi Mesin Gilingan.

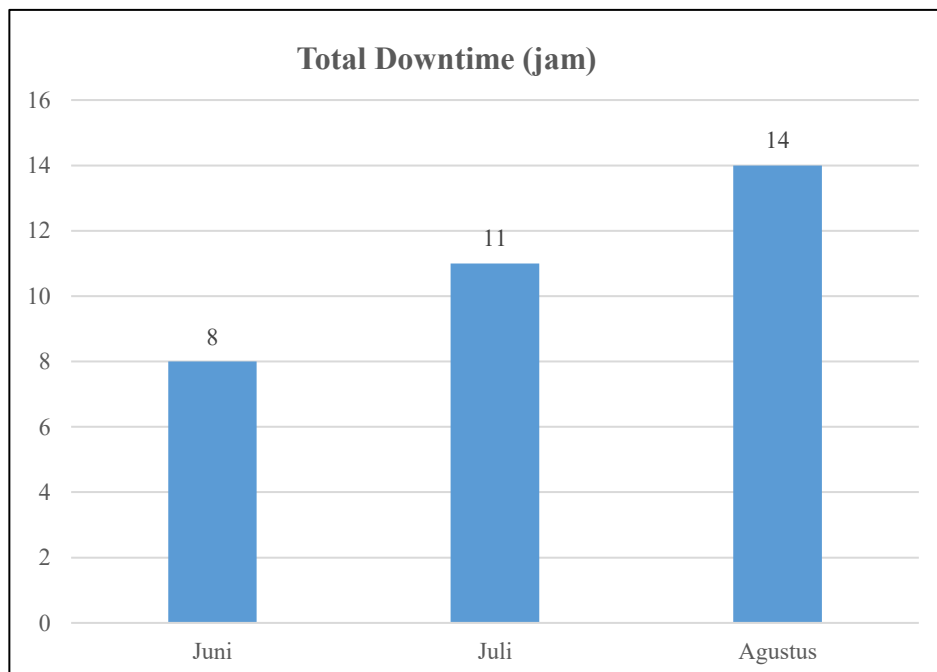
Keterangan	Nilai
Jam operasi per hari	24 jam/hari
Jumlah hari operasi	92 hari
Total jam operasi aktual	2175 jam
Total <i>downtime</i>	33 jam (18 Kejadian)
Total jam operasi ideal	2208 jam

Berdasarkan data yang dikumpulkan antara Juni hingga Agustus 2025. Waktu operasional ideal mesin giling adalah 2.208 jam, yang mencakup 24 jam operasi setiap hari dan total 92 hari operasi. Mesin sebenarnya beroperasi selama 2.175 jam selama periode yang diamati, dengan 18 kasus kerusakan dan total 33 jam waktu henti.



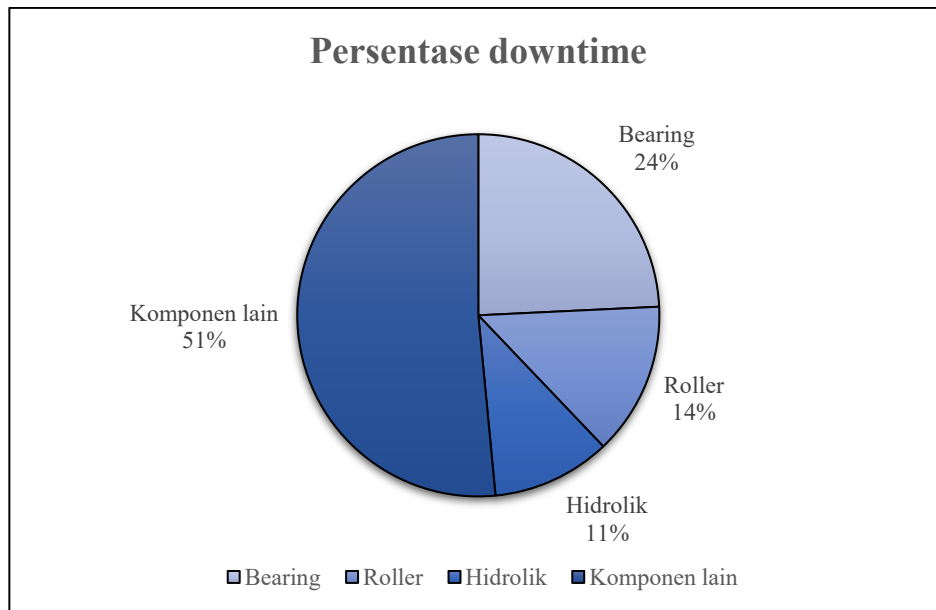
Gambar 2. Grafik Jumlah Kerusakan per Bulan

Berdasarkan grafik jumlah kerusakan per bulan, terlihat bahwa selama periode Juni hingga Agustus 2025 terjadi 18 kali kerusakan, dengan 5 kejadian pada bulan Juni, 7 kejadian pada bulan Juli, dan 6 kejadian pada bulan Agustus. Dengan kerusakan paling sering terjadi pada bulan juli dengan 7 kejadian kerusakan.



Gambar 3. Grafik Total *Downtime* per Bulan

Berdasarkan grafik total *downtime* per bulan, terlihat adanya tren peningkatan durasi waktu henti dari bulan ke bulan, yaitu 8 jam pada Juni, 11 jam pada Juli, dan 14 jam pada Agustus. Dengan jumlah *downtime* terbesar terjadi pada bulan agustus dengan total *downtime* 14 jam.



Gambar 4. Persentase Downtime

Dari diagram persentase *downtime*, *downtime* terbesar berasal dari oleh bearing sebesar 24%, diikuti *roller* sebesar 13%, hidrolik sebesar 10% dan komponen lain sebesar 51%. Meskipun komponen lain memiliki persentase terbesar, kategori tersebut terdiri dari berbagai jenis komponen dengan kejadian yang tersebar. Sebaliknya, bearing dan *roller* merupakan komponen individual yang secara konsisten menyumbang *downtime* signifikan.

B. Penentuan Distribusi Kerusakan

Tabel 4. Hasil Uji Distribusi Menggunakan Minitab.

Distribusi	Nilai Anderson-Darling (AD)	Keterangan
Normal	1,399	Paling cocok
Lognormal	1,698	Kurang
Weibull	1,433	Cocok
Exponential	4,207	Tidak cocok

Semakin kecil nilai *Anderson-Darling* (AD), semakin baik kecocokan distribusi terhadap data.

Distribusi normal dipilih karena menurut hasil uji kecocokan distribusi menggunakan grafik probabilitas di Minitab, nilai *Anderson-Darling* (AD) terkecil adalah 1,399 dan nilai *p* lebih besar dari 0,05.

C. Reliability Existing

Hasil perhitungan *reliability existing* dari mesin giling adalah sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{120,8 - 114,4}{40,3}\right)$$

$$R(t) = 1 - \Phi(0,149)$$

$$R(t) = 1 - 0,563$$

$$R(t) = 0,437 = 43,7\%$$

Nilai *reliability* mesin gilingan berdasarkan distribusi normal adalah 43,7%, yang menunjukkan bahwa probabilitas mesin dapat beroperasi hingga waktu rata-rata kerusakan cukup tinggi.

D. Failure Rate

Hasil perhitungan *failure rate* dari mesin giling adalah sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}z^2\right)$$

$$f(t) = \frac{1}{40,3\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}(0,161)^2\right)$$

$$f(t) = \frac{1}{101,02} \times e^{-0,0130}$$

$$f(t) = 0,0099 \times 0,9871$$

$$f(t) = 0,0098$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

$$\lambda(t) = \frac{0,0098}{0,437} = 0,0224 \text{ kegagalan/jam}$$

Nilai *failure rate* mesin giling pada waktu operasi 120,8 jam adalah sebesar 0,0224 kegagalan per jam. Nilai ini menunjukkan bahwa laju kegagalan sistem meningkat setelah melewati waktu rata-rata kegagalan.

E. Mean Time Between Failure (MTBF)

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Total waktu operasi}}{\text{frekuensi kerusakan}}$$

$$\text{MTBF} = \frac{2175}{18}$$

$$\text{MTBF} = 120,8 \text{ jam}$$

Nilai MTBF sebesar 120,8 jam menunjukkan bahwa selama periode Juni-Agustus 2025 mesin gilingan rata-rata mengalami kerusakan setiap 120,8 jam operasi.

F. Mean Time To Repair (MTTR)

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Total downtime}}{\text{Jumlah kegagalan}}$$

$$\text{MTTR} = \frac{33}{18}$$

$$\text{MTTR} = 1,83 \text{ jam}$$

Meskipun nilai MTTR sebesar 1,83 jam menunjukkan bahwa perbaikan mesin gilingan relatif singkat, tingkat kerusakan yang cukup sering masih memengaruhi ketersediaan mesin.

G. Usulan Alternatif

Berdasarkan analisis data kerusakan dan *downtime* pada tabel 1 dan tabel 2, serta diskusi yang dilakukan dengan pihak perusahaan. Komponen *bearing* dan *roller* diidentifikasi sebagai komponen kritis karena:

1. Sering mengalami kerusakan berulang
2. Menyebabkan *downtime* signifikan

Berdasarkan prinsip *reliability centered maintenance* (RCM), ditetapkan dua alternatif perawatan:

- Alternatif 1: Penerapan *age replacement* pada *bearing*
- Alternatif 2: Penggantian *roller* secara preventif

Pemilihan investasi pada komponen ini diharapkan mampu untuk menurunkan frekuensi kerusakan dan kerugian akibat *downtime* mesin.

H. Analisis Ekonomi Teknik

Tabel 5. Data Biaya Alternatif *Bearing* dan *Roller*

Parameter	Nilai Alternatif <i>Bearing</i>	Nilai Alternatif <i>Roller</i>
Biaya penggantian	Rp. 180.000.000	Rp. 200.000.000
Frekuensi penggantian	5 kali (3 bulan)	3 kali (3 bulan)
Biaya tetap (FC)	Rp. 900.000.000	Rp 600.000.000
<i>Downtime</i> dapat dihindari	9,5 jam	4,5 jam
Biaya variabel (V)	Rp. 13.000.000	Rp. 13.000.000
Nilai manfaat (P)	Rp 130.000.000/jam	Rp 130.000.000/jam
Manfaat <i>downtime</i> dihindari	Rp. 1.235.000.000	Rp. 585.000.000

I. Break Even Point (BEP)

Perhitungan alternatif perbaikan *bearing*:

$$\text{BEP} = \frac{FC}{P-V}$$

$$\text{BEP} = \frac{900.000.000}{\frac{130.000.000 - 13.000.000}{900.000.000}}$$

$$\text{BEP} = \frac{117.000.000}{117.000.000}$$

$$\text{BEP} = 7,69 \text{ jam}$$

Perhitungan alternatif perbaikan *roller*:

$$\text{BEP} = \frac{FC}{P-V}$$

$$\text{BEP} = \frac{600.000.000}{\frac{130.000.000 - 13.000.000}{600.000.000}}$$

$$\text{BEP} = \frac{117.000.000}{117.000.000}$$

$$\text{BEP} = 5,13 \text{ jam}$$

Berdasarkan analisis *Break Even Point* (BEP), alternatif penggantian *bearing* mencapai titik impas pada 7,69 jam *downtime*, sedangkan *downtime* yang dapat dihindari sebesar 9,5 jam, sehingga alternatif ini dinilai layak secara

ekonomi. Sebaliknya, alternatif penggantian *roller* memiliki BEP sebesar 5,13 jam, sementara *downtime* yang dapat dihindari hanya 4,5 jam, sehingga alternatif tersebut belum mencapai titik impas.

J. Rate of Return (ROR)

Perhitungan alternatif perbaikan bearing:

$$\begin{aligned} \text{ROR} &= \frac{\text{Benefit} - \text{Cost}}{\text{Cost}} \\ \text{ROR} &= \frac{1.235.000.000 - 900.000.000}{900.000.000} \\ \text{ROR} &= 0,372 = 37,2\% \end{aligned}$$

Perhitungan alternatif perbaikan 2 (Roller):

$$\begin{aligned} \text{ROR} &= \frac{PV_{\text{benefit}} - PV_{\text{cost}}}{PV_{\text{cost}}} \\ \text{ROR} &= \frac{585.000.000 - 600.000.000}{600.000.000} \\ \text{ROR} &= -0,025 = -2,5\% \end{aligned}$$

Pada perhitungan alternatif *bearing*, diperoleh nilai ROR sebesar 37,2%, yang menunjukkan tingkat pengembalian investasi yang tinggi. Nilai ini mengindikasikan bahwa alternatif *bearing* mampu memberikan keuntungan ekonomi yang signifikan dan memiliki daya tarik investasi yang kuat. Pada alternatif *roller*, diperoleh nilai ROR sebesar -2,5%, yang menunjukkan tingkat pengembalian negatif. Kondisi ini menandakan bahwa alternatif *roller* tidak mampu menghasilkan keuntungan ekonomi dan berpotensi menimbulkan kerugian finansial apabila diterapkan.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Ekonomi Teknik

Alternatif	BEP	ROR
Alternatif perbaikan 1 (<i>Bearing</i>)	7,69 < 9,5 jam	37,2%
Alternatif perbaikan 2 (<i>Roller</i>)	5,13 > 4,5 jam	-2,5%

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 9, alternatif perbaikan bearing memiliki nilai BEP sebesar 7,69 jam, sedangkan *downtime* yang dapat dihindari mencapai 9,5 jam, sehingga telah melewati titik impas. Selain itu, nilai ROR sebesar 37,2% lebih tinggi dari tingkat diskonto 10%, sehingga alternatif ini dinilai layak secara ekonomi. Sebaliknya, alternatif perbaikan *roller* memiliki nilai BEP sebesar 5,13 jam, sedangkan *downtime* yang dapat dihindari hanya 4,5 jam, sehingga belum mencapai titik impas. Nilai ROR sebesar -2,5% juga menunjukkan bahwa alternatif ini tidak layak secara ekonomi.

K. Pemilihan Strategi Terbaik

Berdasarkan hasil perhitungan ekonomi teknik sebelumnya, pada alternatif perbaikan 1 (*bearing*), nilai BEP diperoleh sebesar 7,69 jam, sedangkan *downtime* yang dapat dihindari mencapai 9,5 jam. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah *downtime* yang dapat dicegah lebih besar dibandingkan nilai BEP, sehingga biaya perbaikan yang dikeluarkan dapat tertutupi oleh manfaat pengurangan *downtime*. Selain itu, nilai ROR sebesar 37,2% juga menunjukkan tingkat pengembalian yang jauh lebih tinggi dibandingkan tingkat diskonto yang digunakan dalam penelitian, yaitu 10%. Dengan demikian, alternatif penggantian bearing dinilai layak secara ekonomi karena mampu memberikan keuntungan dari segi pengurangan kerugian akibat *downtime*.

Sebaliknya, pada alternatif perbaikan 2 (*roller*) diperoleh nilai BEP sebesar 5,13 jam, sedangkan *downtime* yang dapat dihindari hanya sebesar 4,5 jam. Kondisi ini menunjukkan bahwa *downtime* yang dapat dicegah masih lebih kecil dibandingkan nilai BEP, sehingga manfaat yang diperoleh belum mampu menutup biaya perbaikan yang dikeluarkan. Hal ini juga diperkuat oleh nilai ROR sebesar -2,5%, yang menunjukkan bahwa alternatif tersebut tidak memberikan tingkat pengembalian yang memadai dan bahkan berpotensi menimbulkan kerugian.

Berdasarkan kedua indikator tersebut, dinyatakan bahwa alternatif perbaikan bearing merupakan pilihan yang lebih optimal dibandingkan alternatif perbaikan *roller*, karena mampu memberikan manfaat ekonomi yang lebih besar melalui pengurangan *downtime* mesin giling.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis Reliability Centered Maintenance (RCM) dan pendekatan ekonomi teknik pada mesin giling Pabrik Gula X periode Juni-Agustus 2025, tercatat 18 kejadian kerusakan dengan total *downtime* sebesar 33 jam. Nilai reliability existing mesin sebesar 43,7% menunjukkan bahwa tingkat keandalan mesin masih tergolong sedang dan berpotensi mengalami gangguan berulang. Hasil identifikasi RCM menunjukkan bahwa komponen bearing dan roller merupakan komponen kritis yang memberikan kontribusi *downtime* terbesar pada mesin giling.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa alternatif penggantian berbasis umur (*age replacement*) pada bearing memiliki nilai BEP sebesar 7,69 jam, sedangkan *downtime* yang dapat dihindari sebesar 9,5 jam sehingga telah melewati titik impas. Selain itu, nilai ROR sebesar 37,2% lebih tinggi dari tingkat diskonto 10%, sehingga alternatif ini dinilai layak secara ekonomi. Sebaliknya, alternatif penggantian preventif pada roller memiliki BEP sebesar 5,13

jam dengan downtime yang dapat dihindari sebesar 4,5 jam serta nilai ROR sebesar -2,5%, sehingga tidak layak diterapkan.

Berdasarkan kedua indikator tersebut, dapat disimpulkan bahwa alternatif perbaikan bearing merupakan pilihan yang lebih optimal dibandingkan alternatif perbaikan *roller*, karena mampu memberikan manfaat ekonomi yang lebih besar melalui pengurangan *downtime* mesin giling.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT. SGN PG Kremboong karena telah memberikan kesempatan untuk melakukan kegiatan magang ini, serta semua bantuan yang telah diberikan selama pelaksanaannya. Dan juga berterima kasih kepada para pembimbing dan seluruh staf di bagian instalasi yang telah memberikan bimbingan, pendampingan, dan berbagai bantuan selama magang berlangsung. Penulis juga berterima kasih kepada perusahaan untuk memberi mereka data yang diperlukan untuk menyelesaikan penelitian ini sebagai bagian dari penyusunan tugas akhir.

REFERENSI

- [1] Y. Erdhianto And T. Surabaya, "Occupational Health And Safety (Ohs) Analysis At The Pg Kremboong Production Department Using The Risk Priority Number And 5 Whys Method," *Jurnal Iptek*, Vol. 25, No. 1, 2021, Doi: 10.31284/J.Iptek.2021.V25i1.
- [2] M. T. Qulub And A. Misbah, "Evaluasi Kinerja Mesin Giling Menggunakan Metode Oee Dalam Upaya Pengurangan Six Big Losses Di Pt Pg Candi Baru Sidoarjo," *Jurnal Serambi Engineering*, Vol. 10, No. 4, 2025.
- [3] M. I. Aprilianto, I. Romli, And H. Herlambang, "Perencanaan Pemeliharaan Mesin Injection Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) Pada Produksi Komponen Karet Otomotif," *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, Vol. 4, No. 3, P. 20, 2025.
- [4] J. T. Juwandono And J. Purnama, "Analisa Pemeliharaan Mesin Produksi Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) Dan Age Replacement," *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (Jutin)*, No. 6, 2023.
- [5] V. Constantinus, R. Sitepu, And A. Joewono, "Penerapan Total Productive Maintenance (Tpm) Untuk Efektivitas Mesin Dengan Overall Equipment Effectiveness (Oee) Sebagai Alat Ukur Di Pt Xyz," *Buletin Profesi Insinyur*, Vol. 6, No. 3, Pp. 94–101, Jul. 2023, Doi: 10.20527/Bpi.V6i3.217.
- [6] D. Kurniawan, H. Rarindo, L. Agustriyana, And A. Dani, "Preventive Maintenance Pada Articulated Dump Truck Komatsu Hm400-3r Di Pt. Pamapersada Nusantara Bontang Preventive Maintenance On Komatsu Hm400-3r Articulated Dump Truck At Pt. Pamapersada Nusantara Bontang," *J. Teknol.*, Vol. 17, No. 1, P. 2023, 2023.
- [7] I. A. S. Wulandari, H. C. Wahyuni, I. Mardiyah, And N. R. Hanun, "Environment Performance Index Assessment On Food Production: A Case Study In Indonesia," *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 23, No. 2, Pp. 93–104, Aug. 2022, Doi: 10.22219/Jtiumm.Vol23.No2.93-104.
- [8] J. Anthony, T. A. R. Arungpadang, And C. S. C. Punuhsingon, "Penerapan Reliability Centered Maintenance Pada Perencanaan Waktu Interval Preventive Maintenance Unit Container Crane Di Terminal Peti Kemas Pt Pelindo Iv Bitung," *Jurnal Tekno Mesin*, Vol. 10, No. 1, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/V3/Index.Php/Jtmu>
- [9] D. Maulana, A. Pratama, And W. Widiasih, "Usulan Jadwal Pemeliharaan Mesin Crane Dengan Metode Reliability Centered Maintenance," *Prozima*, Vol. 8, No. 2, Pp. 2541–5115, 2024, Doi: 10.21070/Prozima.V8i2.1719.
- [10] F. Clea Putri, "Analisis Manajemen Perawatan Komponen Apill Tenaga Surya Dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance," *Metode Jurnal Teknik Industri*, Vol. 9, No. 2, Pp. 7818718–78835283, 2023.
- [11] N. Dwi, A. Asmoro, And W. Widiasih, "Analisis Keandalan Mesin Untuk Meningkatkan Kinerja Pada Mesin Extruder Di Pt. Rapindo Plastama," *Journal Of Industrial View*, Vol. 4, No. 2, 2022.
- [12] S. Purba, L. Parinduri, And B. Harahap, "Penentuan Interval Waktu Preventif Maintenance Pada Mesin Open Top Roller Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Di Unit Pabrik Teh Kebun Tobasari Pt. Perkebunan Nusantara Iv," *Buletin Utama Teknik*, Vol. 16, No. 2, Pp. 1410–4520, 2021.
- [13] H. Hardiansyah, F. Franciscus, And E. Yuniarti, "Analisis Keandalan Main Batterypesawat Crj-1000 Di Maskapai Garuda Indonesia," *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, Vol. 9, No. 1, 2023.
- [14] A. F. A. Duta, W. T. Bhirawa, And B. Arianto, "Schedule Maintenance Penggantian Komponen Housing Valve Propeller Control Pada Pesawat C 130 H/S Hercules Berdasarkan Perhitungan Reliability," *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 13, No. 2, 2024.

- [15] M. Taaqbier¹ And M. Anhar, “Perencanaan Preventive Maintenance Menggunakan Metode Reliability Pada Electrical Sistem Auxiliary Power Unit Boeing 737-500,” *Indonesian Journal Of Mechanical Engineering*, Vol. 2, No. 1, 2022, [Online]. Available: <https://politap.ac.id/journal/index.php/injection>
- [16] Silvia, R. I. D. Suyatmo, And Murnianti, “Analisis Preventive Maintenance Berdasarkan Mean Time Between Failure (Mtbf) Dan Mean Time To Repair (Mtrr) Pada Alat Blow Molding Di Pt Xyz,” *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, Vol. 2, No. 8, 2023, [Online]. Available: <https://jurnalpengabdianmasyarakatbangsa.com/index.php/jpmba/index>
- [17] I. Mujiarto, E. Indro Asmoro, And Kundori, “Pengukuran Laju Kerusakan Dengan Mengindikasikan Nilai Mtbf Dalam Manajemen Perawatan Mesin Pada Pt. Aic,” *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, Vol. 1, No. 3, Pp. 14–23, 2022.
- [18] M. Husein Habibi, A. Jibril, And P. Kelautan Dan Perikanan Sidoarjo, “Analisis Perhitungan Mean Time Between Failure (Mtbf) Dan Mean Time To Repair (Mtrr) Mesin Cold Storage,” *Jurnal Cendekia Ilmiah*, Vol. 4, No. 4, 2025.
- [19] A. J. Wardana And M. Abdulrahim, “Strategi Meningkatkan Keandalan Mesin Reader Untuk Memperpendek Antrian Pada Gate 7 Gerbang Waru Ramp,” *Innovative: Journal Of Social Science Research*, Vol. 4, No. 3, 2024.
- [20] P. W. Ndari *Et Al.*, *Ekonomi Rekayasa*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah, 2025. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=Vo5peqaaqbaj>
- [21] R. Aminus And R. Sarina, “Analisis Break Even Point Sebagai Alat Perencanaan Laba Pada Pt. Golden Oilindo Nusantara Palembang,” *Jurnal Manajemen*, Vol. 10, No. 3, 2022.
- [22] M. M. Dr. Sri Handini, M. M. Dra. Erwin Dyah Astawinetu, And S. M. Pustaka, *Teori Portofolio Dan Pasar Modal Indonesia*. Scopindo Media Pustaka, 2020. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=6wb-Dwaaqbaj>
- [23] T. Ridho Lano, S. Gamba Indah, Esisuarni, Hadiyanto, And Yahya, “Mengidentifikasi Perbedaan Rate Of Return,” *Jurnal Niara*, Vol. 17, No. 3, Pp. 294–302, 2025.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.