
Analisis Penggantian dan Perawatan pada *Papermachine* Bagian *Wire* dan *Dryer* Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* dan *Age replacement* Pada PT. X

Irsyaad Ramadhan^{1*}, Wiwin Widiasih²

¹Program Studi Teknik Industri, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jl.Semolowaru No.45, Menur Pumpungan, Kec.Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60118
Email: irsyaaadramadhan111@gmail.com¹, wiwin_w@untag-sby.ac.id²

ABSTRAK

PT.X merupakan salah satu perusahaan kertas di daerah Mojokerto yang memproduksi kertas jenis Coated Duplex Board. Perusahaan ini beroperasi selama 24 jam tanpa henti. Kondisi tersebut sangat bergantung pada perawatan mesin yang berjalan terus menerus. Untuk menjaga agar mesin dapat berfungsi dengan maksimal, manajemen perawatan mesin perlu diperhatikan. Pada periode Agustus 2022 – Februari 2023 kerusakan mesin sering terjadi pada bagian *Wire* dan *Dryer* yang menyebabkan terganggunya proses produksi. Oleh karena itu manajemen perawatan mesin dibutuhkan dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* dan *Age replacement* untuk menentukan interval penggantian dan pemeriksaan yang optimal berdasarkan minimasi *downtime*. Pemilihan komponen kritis ditentukan dengan menggunakan pareto dari hasil *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA), kemudian menggunakan *Software Minitab17* untuk menentukan *godnees of fit*, distribusi yang dipilih, parameter distribusi, dan *Main time to Failure* (MTTF) & *Main Time to Repair* (MTTR) masing-masing komponen. kemudian menentukan interval penggantian *Age replacement* dan penentuan pemeriksaan yang optimal yaitu pada *Bearing screen* tiap 27 hari, *Couchroll* 5 tiap 41 hari, *HP shower* tiap 41 hari, *Long felt* tiap 22 hari, *Stretcher Long felt* tiap 38 hari, *wire 1* tiap 65 hari, *Wire 9* tiap 41 hari, *Gearbox dryer* tiap 19 hari, *Bearing dryer* tiap 25 hari, *Canvas roll* tiap 41 hari, *Pulley tali rope* 24 hari, *Rotary* tiap 21 hari, dan *Body rotary* tiap 17 hari. Masing-masing komponen dilakukan pemeriksaan selama 2-4 hari sekali. Nilai *Availability Total* pada masing-masing komponen diatas 87% - 99% yang menunjukkan probabilitas berfungsi dengan yang diharapkan dan *Reliability* setelah dilakukan usulan penjadwalan perawatan menunjukkan adanya peningkatan

Kata Kunci: *Maintenance, Reliability, Age replacement, Penjadwalan*

ABSTRACT

PT.X is a paper company in the Mojokerto area that produces coated duplex board type paper. This company operates 24 hours non-stop. This condition is very dependent on machine maintenance that runs continuously. To keep the machine functioning optimally, it is necessary to pay attention to machine maintenance management. In the period August 2022 - February 2023 the percentage of machine damage often occurs in the wire and dryer parts which causes disruption to the production process. Therefore, machine maintenance management is needed by using the Reliability Centered Maintenance and Age replacement methods to determine optimal replacement and inspection intervals based on minimizing downtime. The selection of critical components to be analyzed is determined using pareto from the FMEA results, then using the Minitab 17 software to determine the godsnees of fit, the selected distribution, the parameters of each distribution, and the MTTF & MTTR of each component. then determine the Age replacement replacement interval and determine the optimal inspection, namely on Bearing screens every 27 days, Couchroll 5 every 41 days, HP showers every 41 days, Long felt every 22 days, Stretcher Long felt every 38 days, wire 1 every 65 days, Wire 9 every 41 days, Gearbox dryer every 19 days, Bearing dryer every 25 days, Canvas roll every 41 days, Pulley rope rope 24 days, Rotary every 21 days, and Body rotary every 17 days. And each component is checked once every 2-4 days. The total availability value for each component is above 87% - 99% which shows the probability of functioning as expected and reliability after the proposed maintenance schedule shows an increase

Keywords: *Maintenance, Reliability, Age replacement, Scheduling,*

1. Pendahuluan

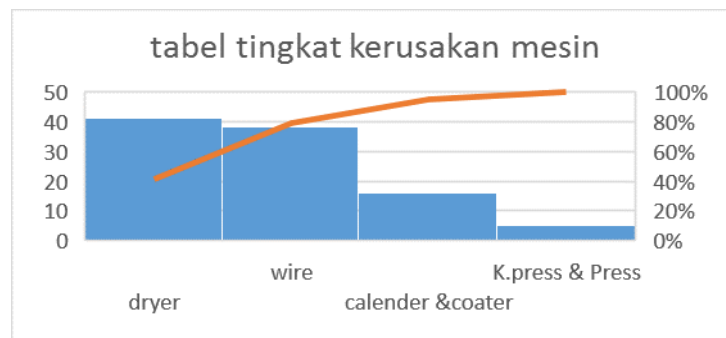
PT.X merupakan perusahaan kertas yang beroperasi di daerah Mojokerto yang memproduksi kertas jenis *Coated Duplex Board* (CDB) dengan bahan baku daur ulang dari kertas bekas. Proses produksinya beroperasi selama 24 jam *non stop* dengan satu *line* produksi. Mesin yang digunakan pada proses produksi kertas menggunakan *Papermachine* dengan jenis *Cylinder Wire* yang dimana mesin tersebut sering digunakan untuk memproduksi kertas dengan gramatur yang tinggi. proses produksi kertas dilakukan pada departemen *Stock Preparation* yang mengolah limbah kertas bekas menjadi buburan kertas untuk bahan baku utama dalam pembuatan kertas. Kemudian proses utama terjadi pada departemen *Papermachine* yang mengolah buburan atau *pulp* hingga menjadi lembaran kertas. Proses pembuatan kertas dapat dilihat dengan Operation Process Control pada Gambar 1.



Gambar 1. Operation Process Control

Mesin adalah alat yang dapat mengubah energi untuk membantu pekerjaan manusia. Karena usia dan keandalan suatu alat akan berkurang karena terus digunakan, maka pemeliharaan harus dilakukan pada suatu alat untuk memperpanjang umur mesin dan meningkatkan keandalan (Suwandy, 2019). Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dalam proses produksi kertas maka sistem atau mesin harus berfungsi dengan maksimal agar proses produksi berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Maka manajemen perawatan mesin perlu diperhatikan untuk mengurangi terjadinya masalah atau kerusakan yang terjadi pada mesin produksi terutama pada unit *Papermachine*.

Tingkat kerusakan mesin dapat dilihat pada Gambar 2, pada periode Agustus 2022 – Februari 2023 presentase menunjukkan bahwa pada bagian *Wire* dan *Dryer* merupakan kerusakan yang tertinggi jika dibandingkan dengan bagian lain yang ada pada *Papermachine*. Hal tersebut tentu saja sangat berpengaruh pada proses yang terjadi di bagian selanjutnya dan akan mempengaruhi jalannya produksi.



Gambar 2. Tingkat kerusakan mesin

Kerusakan yang sering terjadi secara tiba-tiba merupakan permasalahan yang serius bagi suatu perusahaan. Kerusakan yang terjadi memang sangat sulit diprediksi kapan terjadinya kerusakan. Akan tetapi untuk mengantisipasi kerusakan tersebut perusahaan bisa menerapkan tindakan perawatan yang optimal untuk mencegah terjadinya kerusakan. Maka strategi yang tepat juga digunakan untuk menentukan penjadwalan perawatan/pemeriksaan guna untuk mencegah kerusakan yang terjadi secara tiba-tiba atau dapat meminimasi *downtime* (Taufik & Septyani, 2015). Untuk meminimasi terjadinya kerusakan dapat diatasi dengan adanya manajemen yang tepat. Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis yaitu dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* dan metode *Age replacement* untuk menentukan interval penggantian pencegahan pada komponen kritis. Hal tersebut dapat ditinjau dengan dari beberapa aspek kegagalan yang terjadi pada komponen kritis. Sehingga dengan menerapkan perawatan yang tepat kerusakan yang terjadi dapat diminimasi atau dapat dicegah sehingga produksi dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan.

Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan suatu kegiatan untuk memaksimalkan umur dari suatu sistem dan fungsi dari sistem agar dapat beroperasi lebih lama dengan biaya yang minimal dengan cara mengkombinasikan *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* (Raharja, Suardika & Galuh, 2021). Penggunaan metode RCM memiliki kelebihan yaitu metode ini berfokus pada keandalan dari sistem, pendekatan yang dilakukan berbasis resiko atau analisis resiko, dan penjadwalan pemeliharaan yang fleksibel. Kelemahan dari metode ini yaitu membutuhkan analisis yang lebih mendalam, memerlukan keahlian khusus dalam analisis resiko dan pemeliharaan, dan penggunaan sumber daya yang intensif.

Penelitian terkait metode RCM telah banyak dilakukan seperti analisis penentuan sistem perawatan dan penggantian komponen (Raharja, Suardika & Galuh, 2021); Analisis perawatan pada mesin Air Jet Loom untuk menentukan tindakan perawatan yang optimal menggunakan metode RCM (Shinta, Yanti & Qurtubi, 2021); Menentukan aktivitas untuk menjamin mesin berjalan sesuai dengan standar operasional prosedur dengan menggunakan RCM, kemudian menggunakan metode *Maintenance Value Stream Map* (MVSM) untuk usulan perbaikan dan peningkatan pemeliharaan dari sistem (Syafei & Suhendar, 2022).

Dalam penelitian menggunakan metode RCM untuk menganalisis kegagalan dari suatu sistem dan menentukan komponen kritis dari kegagalan tersebut, kemudian melakukan penjadwalan penggantian maupun pemeriksaan yang tepat dengan menggunakan metode *Age replacement*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan komponen dari bagian *Wire* dan *Dryer* yang perlu untuk melakukan usulan penjadwalan dan pemeriksaan yang optimal, kemudian untuk melakukan penjadwalan penggantian pencegahan dan pemeriksaan rutin pada komponen kritis.

2. Metode Penelitian

Pemeliharaan merupakan suatu tindakan yang dilakukan untuk tujuan menghasilkan suatu sistem mampu mempertahankan kondisi untuk dapat berfungsi. Jadi Seluruh rangkaian tugas yang dilakukan untuk menjaga unit dalam keadaan fungsional dan aman disebut sebagai pemeliharaan. Sekalipun rusak, mesin masih dapat dioperasikan dengan cara yang dapat diandalkan dan aman (Widiasih & Aziza, 2019)

Tahapan penelitian yang dilakukan oleh peneliti melalui beberapa tahap antara lain yaitu tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, dan tahap kesimpulan serta usulan yang dilakukan peneliti kepada perusahaan. Pada tahap pengumpulan data dilakukan dengan wawancara kepada kepala bagian ataupun karyawan dari perusahaan tersebut. Kemudian dengan cara melakukan observasi secara langsung dilapangan untuk mengetahui kondisi secara langsung.

Tahap pengolahan data dilakukan dengan menggunakan beberapa metode antara lain

1. *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA)

FMEA merupakan yang digunakan untuk menemukan komponen kritis pada penelitian ini. FMEA juga merupakan teknik yang mencoba menilai desain dan memperhitungkan berbagai jenis kegagalan untuk sistem dengan banyak komponen. menentukan bagaimana kegagalan komponen pada tingkat tertentu, terutama untuk sistem penting, dapat diukur dengan menganalisis banyak aspek yang memengaruhi ketergantungan. Ambil tindakan korektif yang diperlukan untuk mengurangi atau menghilangkan kemungkinan kegagalan kritis. (Pranowo, 2019).

2. Uji Probabilitas Distribusi

Uji distribusi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Software Minitab2017* untuk menentukan distribusi yang dipilih serta parameter. Uji distribusi yang dilakukan pada *software Minitab* juga dapat menemukan nilai *Main Time to Failure (MTTF)* dan *Main Time to Repair (MTTR)* sesuai dengan distribusi yang dipilih. Identifikasi distribusi bertujuan untuk mengetahui distribusi yang digunakan pada komponen kritis dari interval waktu perbaikan dan interval waktu kerusakan. Setiap komponen memiliki distribusi yang berbeda. Maka uji distribusi dilakukan untuk mengetahui distribusi yang sesuai dengan komponen tersebut. Distribusi yang sering digunakan yaitu Weibul, Eksponensial, Normal, Lognormal (Akbar & Widiasih, 2022)

3. Keandalan

Keandalan produk atau sistem dapat disampaikan sebagai gagasan bahwa produk tersebut dapat dikatakan handal atau dapat berfungsi dengan baik tanpa mengalami kesalahan apapun. Keandalan didefinisikan sebagai gagasan terkait lebih khususnya sebagai berikut: kemungkinan bahwa suatu item atau sistem akan dapat menjalankan fungsi tertentu untuk jumlah waktu yang ditunjukkan, dengan asumsi operasi normal, dikenal sebagai kehandalan sitem (Kumala, 2022).

Kemungkinan bahwa suatu bagian, bagian dari mesin, mesin, atau sistem akan berfungsi sebagaimana dimaksud dalam jangka waktu yang telah ditentukan sebelumnya adalah yang dimaksud dengan keandalan. Nilai keandalan peralatan dapat digunakan untuk menunjukkan apakah suatu peralatan *beroperasi* atau tidak. *Unreliability* adalah kebalikan dari ketergantungan dan dapat dinyatakan sebagai operasi yang berhasil atau tidak ada kerusakan.

a. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial pada umumnya banyak dipakai untuk kerusakan suatu peralatan yang diakibatkan karena kerusakan komponen penyusun. Rumus yang digunakan pada distribusi ini yaitu sebagai berikut:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1)$$

$$R(t) = e_{-\lambda t} \quad (2)$$

$$F(t) \rightarrow = 1 - e_{-\lambda t} \quad (3)$$

$$h(t) = \lambda \quad (4)$$

$$MTTF = 1/\lambda \quad (5)$$

Keterangan : PDF = *Probability density function*

R(t) = fungsi keandalan

h(t) = fungsi laju kerusakan

f(t) = *probability density function*

t = interval waktu (hari)

E = *Scale* parameter

b. Distribusi Normal

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^1 \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (6)$$

$$R(t) = 1 - \left(\Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)\right) \quad (7)$$

$$F(t) \rightarrow = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (8)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \quad (9)$$

$$MTTF = \mu \quad (10)$$

Keterangan : R(t) = fungsi keandalan

h(t) = fungsi laju kerusakan

f(t) = *probability density function*

t = interval waktu (hari)

μ = *mean*

c. Distribusi Weibul

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (11)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (12)$$

$$F(t) \rightarrow = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (13)$$

$$h(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (14)$$

$$MTTF = \theta r \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (15)$$

Keterangan : R(t) = fungsi keandalan
 h(t) = fungsi laju kerusakan
 f(t) = *probability density function*
 t = interval waktu (hari)
 β = parameter kemiringan
 θ = *Scale parameter*

d. Distribusi Lognormal

$$(PDF) \rightarrow f(t) = \frac{1}{t \cdot s \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2s^2} [\ln t - t_{med}]^2 \right\} \quad (16)$$

$$R(t) = 1 - \Phi \left[\frac{1}{s} \ln \left(\frac{t}{t_{med}} \right) \right] \quad (17)$$

$$F(t) \rightarrow = \Phi \left[\frac{1}{s} \ln \left(\frac{t}{t_{med}} \right) \right] \quad (18)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (19)$$

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{s^2/2} \quad (20)$$

Keterangan : R(t) = fungsi keandalan
 f(t) = *probability density function*
 t = interval waktu (hari)
 t_{med} = *median*
 s = *Scale parameter*

4. Age replacement

Tujuan penggunaan perhitungan ini adalah untuk menentukan berapa umur suatu sistem (tp) yang harus diganti untuk meminimasi *downtime*.

$$M(tp) = MTTF/F(tp) = MTTF/1-R(tp)$$

Jadi perhitungan *downtime* yaitu:

$$D(t) = \left(\frac{T_p \cdot R(t) + T_f \cdot (F(t))}{(t + T_p) \cdot R(t) + [M(t) + T_f] \cdot (F(t))} \right) \quad (21)$$

Keterangan :
 T_f = waktu untuk melakkan perbaikan
 T_p = waktu melakukan penggantian *preventive*
 t_p = interval waktu
 f(t) = fungsi kepadatan peluang (1-R(t))

5. Perhitungan Frekuensi dan Interval pemeriksaan optimal

Model inspeksi yang ideal diantisipasi untuk dapat menentukan tindakan pencegahan yang tepat untuk diambil saat melakukan inspeksi untuk meminimalkan tingkat kerusakan sekaligus mengurangi kemungkinan kerusakan sistem. Kelancaran dari suatu proses produksi menjadi penentu untuk tercapainya suatu target perusahaan. Kelancaran proses produksi sangat dipengaruhi dari suatu sistem dalam proses tersebut, salah satunya yaitu mesin yang digunakan. Setiap proses perlu adanya kesiapan dan keandalan dari sistem atau mesin yang digunakan agar beroperasi dengan maksimal (Assagaf, 2019).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen dilakukan dengan menggunakan metode *failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) untuk meninjau kegagalan dari suatu komponen dengan memberikan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Kemudian dilakukan penghitungan nilai *Risk priority Number* (RPN) sebagai pengukuran tanggung jawab sebelum menerapkan tindakan perawatan. Nilai RPN dari FMEA pada komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2

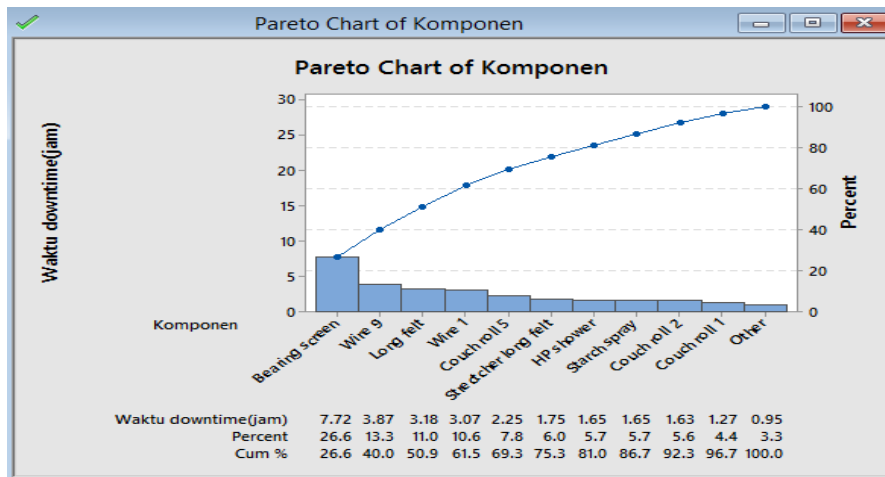
Tabel 1. Data komponen kritis pada bagian *wire*

Bagian <i>Wire</i>				
No	Komponen	Waktu <i>downtime</i> (menit)	Waktu <i>downtime</i> (jam)	RPN
1	<i>Wire 1</i>	184	3,07	210
2	<i>Wire 2</i>	110	1,83	210
3	<i>Wire 3</i>	102	1,70	210
4	<i>Wire 4</i>	145	2,42	210
5	<i>Wire 5</i>	110	1,83	210
6	<i>Wire 9</i>	232	3,87	210
7	<i>Couch roll 1</i>	76	1,27	280
8	<i>Couch roll 2</i>	98	1,63	280
9	<i>Couch roll 3</i>	114	1,90	280
10	<i>Couch roll 5</i>	135	2,25	280
11	<i>Couch roll 9</i>	57	0,95	280
12	<i>Strecher long felt</i>	105	1,75	224
13	<i>Long felt</i>	191	3,18	252
14	<i>Bearing screen</i>	463	7,72	320
15	<i>HP shower</i>	99	1,65	202
16	<i>Starch spray</i>	99	1,65	120

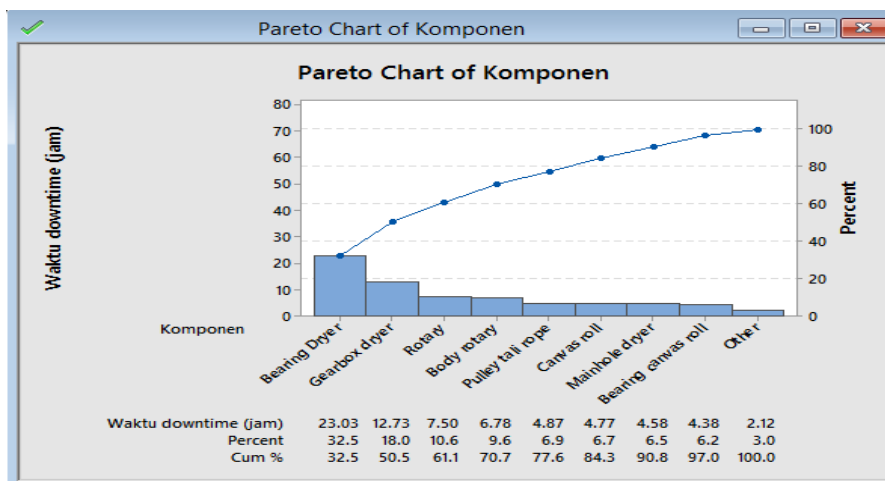
Tabel 2. Data komponen kritis pada bagian *Dryer*

Bagian <i>Dryer</i>				
No	Komponen	Waktu <i>downtime</i> (menit)	Waktu <i>downtime</i> (jam)	RPN
1	<i>Body rotary</i>	407	6,78	294
2	<i>Rotary</i>	450	7,50	392
3	<i>Bearing dryer</i>	1382	23,03	448
4	<i>Bearing canvas roll</i>	263	4,38	448
5	<i>Pulley tali rope</i>	292	4,87	270
6	<i>Doctor blade</i>	67	1,12	245
7	<i>Canvas roll</i>	286	4,77	392
8	<i>Gearbox dryer</i>	764	12,73	504
9	<i>Mainhole dryer</i>	275	4,58	252
10	<i>Nox seal gearbox dryer</i>	309	5,15	280
11	<i>Coupling dryer</i>	60	1,00	140

Setelah mengetahui nilai *downtime* dan RPN pada masing-masing komponen yang ada pada bagian *Wire* dan *Dryer* maka langkah selanjutnya menentukan komponen yang akan diteliti dengan menggunakan diagram pareto dari tabel sebelumnya. Penentuan komponen kritis dapat dilihat pada gambar 1 dan 2 dan berdasarkan gambar tersebut, komponen yang dipilih yaitu diambil % kumulatif sebanyak 80% dari total *downtime* dilihat dari diagram pareto.



Gambar 3. Diagram pareto data downtime mesin bagian Wire



Gambar 4. Diagram pareto data downtime mesin bagian Dryer

3.2. Waktu Kerusakan (*Time to Failure*) dan Waktu Perbaikan (*Time to Repair*)

Waktu kerusakan merupakan waktu yang dibutuhkan suatu mesin atau komponen mengalami kerusakan dari kerusakan sebelumnya sampai kerusakan berikutnya. Sedangkan waktu perbaikan merupakan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan. Waktu kerusakan dan waktu perbaikan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4

Tabel 3. Waktu kerusakan dan waktu perbaikan bagian Wire

<i>Bearing screen</i>		
Tanggal kerusakan	Waktu antar kerusakan (hari)	Waktu perbaikan (menit)
9/28/2022	59	80
10/13/2022	16	78
11/17/2022	35	63
11/18/2022	1	71
12/4/2022	16	81
12/25/2022	21	90
<i>Couch roll 5</i>		
10/13/2022	74	30
12/4/2022	52	27
12/25/2022	21	40
2/10/2023	47	38

Hp shower		
10/13/2022	74	20
10/12/2022	1	34
11/8/2022	27	19
12/24/2022	36	26
Long felt		
9/27/2022	58	43
11/23/2022	57	29
12/25/2022	32	33
Stretcher long felt		
10/12/2022	73	120
10/30/2022	18	10
11/18/2022	19	17
12/3/2022	15	20
12/25/2022	22	8
2/1/2023	38	16
Wire 1		
10/12/2022	73	65
12/25/2022	75	49
2/10/2023	46	70
Wire 9		
10/13/2022	74	54
12/4/2022	42	69
12/25/2022	21	64
2/10/2023	47	45

Tabel 4. Waktu kerusakan dan waktu perbaikan bagian *Dryer*

Gearbox dryer		
Tanggal kerusakan	Waktu antar kerusakan (hari)	Waktu perbaikan (menit)
8/30/2022	30	87
9/19/2022	20	73
10/1/2022	12	90
10/5/2022	4	100
10/31/2022	26	78
11/27/2022	27	89
12/4/2022	7	83
12/25/2022	21	79
2/10/2023	47	86
Bearing dryer		
9/24/2022	55	180
10/12/2022	18	157
10/13/2022	1	200
11/5/2022	23	179
11/21/2022	16	150
12/5/2022	14	159
12/25/2022	20	168
2/10/2023	47	189
Canvas roll		
8/30/2022	30	78
9/19/2022	20	59
10/31/2022	42	63
11/29/2022	29	49
2/10/2023	73	37
Pulley tali rope		
9/27/2022	58	30
10/14/2022	17	34
11/9/2022	26	38
11/24/2022	15	29
12/4/2022	11	45
12/25/2022	21	60
2/10/2023	47	56

Rotary		
8/30/2022	30	45
9/27/2022	28	43
10/12/2022	15	38
10/13/2022	1	50
10/31/2022	18	48
11/19/2022	19	39
12/5/2022	16	55
12/25/2022	20	60
2/10/2023	46	37
2/24/2023	14	35
Body rotary		
8/28/2022	28	39
9/7/2022	10	42
9/24/2022	17	52
10/12/2022	18	36
10/30/2022	18	65
11/17/2022	18	58
12/25/2022	38	47
2/10/2022	46	68

3.3. Penentuan Distribusi dan nilai Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time To Repair (MTTR)

Uji distribusi data dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab17 untuk menentukan distribusi yang dipilih dan untuk menentukan parameter dari distribusi tersebut. Pegujian pada *software* Minitab17 juga dapat menemukan nilai dari MTTF dan MTTR dari distribusi yang dipilih pada masing-masing komponen kritis yang akan dianalisis. Hasil dari perhitungan dengan menggunakan Minitab17 dapat dilihat pada Tabel 5 untuk distribusi dan parameter kerusakan dan Tabel 6 untuk distribusi dan parameter perbaikan.

Perhitungan manual untuk menghitung nilai MTTF dan MTTR harus sesuai dengan rumus dari distribusi yang dipakai tiap komponen. Contoh perhitungan pada komponen *bearing screen* adalah $MTTF = \text{rata-rata pada komponen } longfelt \text{ yang berdistribusi lognormal perhitungannya sebagai berikut:}$

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= t_{med} \cdot e^{s^2/2} \\
 &= 26.05 \cdot e^{0.62^2/2} \\
 &= 26.05 \times 1.2119 \\
 &= 31,5 \text{ Hari}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Distribusi dan parameter waktu kerusakan

Komponen	Distribusi	Korelasi	Median	Loc	Shape	Scale	Mean	Stdev	MTTF (hari)
<i>Bearing screen</i>	Normal	0,953	24,66				24,66	21,66	24,66
<i>Couchroll 5</i>	Normal	0,981	48,5				48,5	25,16	48,5
<i>Hp shower</i>	Normal	0,981	34,5				34,5	34,94	33,5
<i>Long felt</i>	Lognormal	0,93	26,05	3,26		0,62	31,74	22,09	31,74
<i>Stretcher long felt</i>	Weibul	0,915	48,71		3,11	54,78	49,01	17,2	49
<i>Wire 1</i>	Weibul	0,924	64,7		3,8	71,24	64,39	19,9	64,42
<i>Wire 9</i>	Normal	0,979	46				46	25,16	46
<i>Gearbox dryer</i>	Weibul	0,984	22,48		1,44	24,78	22,48	15,79	22,48
<i>Bearing dryer</i>	Normal	0,938	24,25				24,25	18,58	24,25
<i>Canvas roll</i>	Lognormal	0,971	35,11	3,56		0,54	40,72	23,92	40,72
<i>Pulley tali rope</i>	Lognormal	0,978	23,68	3,16		0,66	29,52	21,97	29,52
<i>Rotary</i>	Normal	0,948	20,7				20,7	12,34	20,7
<i>Body rotary</i>	Lognormal	0,958	21,66	3,07		0,52	24,86	14	24,86

Tabel 6. Distribusi dan parameter waktu perbaikan

Komponen	Distribusi	Korelasi	Median	Loc	Shape	Scale	Mean	Stdev	MTTR (hari)
<i>Bearing screen</i>	Weibull	0,985	17,64		0,8	27,83	31,42	39,38	1,31
<i>Couchroll 5</i>	Weibull	0,965	33,98		5,55	36,29	33,53	6,96	1,40
<i>Hp shower</i>	Lognormal	0,963	24,07	3,18		0,3	25,21	7,84	1,05
<i>Long felt</i>	Lognormal	0,893	19,33	2,96		0,97	30,99	38,84	1,29
<i>Stretcher long felt</i>	Lognormal	0,981	34,52	3,54		0,23	35,53	8,65	1,48
<i>Wire 1</i>	Weibull	0,971	61,7		5,28	66,13	60,91	13,25	2,54
<i>Wire 9</i>	Weibull	0,993	44,28		1,96	53,34	47,29	25,07	1,97
<i>Gearbox dryer</i>	Lognormal	0,985	84,67	4,43		0,1	85,1	8,58	3,43
<i>Bearing dryer</i>	Lognormal	0,988	172	5,14		0,1	173	18,9	7,21
<i>Canvas roll</i>	Wibull	0,995	57,37		3,71	63,32	57,15	17,15	2,38
<i>Pulley tali rope</i>	Lognormal	0,972	40,2	3,69		0,31	42,27	13,72	1,75
<i>Rotary</i>	Lognormal	0,986	44,34	3,79		0,19	45,17	8,8	1,88
<i>Body rotary</i>	Lognormal	0,986	49,65	3,9		0,25	51,33	13,49	2,13

3.4. Perhitungan Nilai Keandalan

Sama halnya dengan perhitungan MTTF dan MTTR. Menghitung nilai keandalan juga harus dilakukan dengan menggunakan rumus sesuai dengan distribusi yang dipilih pada tiap komponen. Nilai keandalan merupakan nilai dari suatu kemampuan sistem untuk beroperasi sesuai dengan fungsinya dan jika sistem tersebut memenuhi maka sistem tersebut dikatakan reliabel atau handal.

Contoh perhitungan pada komponen *bearing screen* yang berdistribusi normal, jika dimisalkan interval kerusakan terjadi 1 hari dengan rata-rata 24.66 dan standar deviasi 21.66 maka perhitungannya yaitu:

$$\begin{aligned}
 R(t) &= 1 - \left(\Phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right) \right) \\
 &= 1 - \left(\Phi \left(\frac{1-24.66}{21.66} \right) \right) \\
 &= 1 - \left(\Phi(-1.2675) \right) \\
 &= 1 - (0.1038) = 0.8962 = 89.6\%
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi nilai keandalan berdasarkan distribusi yang dipilih dan interval kerusakan berdasarkan nilai MTTF dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Reliability komponen kritis

Komponen	MTTF (hari)	Reliability	Presentase
<i>Bearing screen</i>	24,66	0,512	51,20%
<i>Couchroll 5</i>	48,5	0,508	50,80%
<i>HP shower</i>	33,5	0,516	51,60%
<i>Long felt</i>	31,74	0,386	38,60%
<i>Stretcher Long felt</i>	49	0,493	49,30%
<i>Wire 1</i>	64,42	0,514	51,40%
<i>Wire 9</i>	46	0,544	54,40%
<i>Gearbox dryer</i>	22,48	0,431	43,10%
<i>Bearing dryer</i>	24,25	0,512	51,20%
<i>Canvas roll</i>	40,72	0,594	59,40%
<i>Pulley tali rope</i>	29,52	0,378	37,80%
<i>Rotary</i>	20,7	0,520	52,00%
<i>Body rotary</i>	24,86	0,606	60,60%

3.5. Perhitungan Interval Penggantian Pencegahan (Age replacement)

Setelah mengetahui distribusi yang digunakan pada waktu antar kerusakan komponen dan waktu antar perbaikan komponen dan perhitungan nilai MTTR dan MTTR baik perhitungan manual ataupun perhitungan dengan menggunakan *software* Minitab 17. Langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan interval pencegahan penggantian dengan berdasarkan minimasi *downtime*.

Data yang didapatkan komponen tersebut menghasilkan nilai MTTF (*Mean Time To Failure*) pada interval 24.66 hari dengan distribusi yang didapatkan yaitu berdistribusi Normal. Data MTTR (*Mean Time To Repair*) dengan distribusi yang dipilih yaitu berdistribusi weibul, mendapatkan nilai MTTR = Tf = Tp = 1.31 hari. Rekapitulasi perhitungan *Age replacement* dengan minimasi *downtime* dan pada masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9. Langkah-Langkahnya yaitu sebagai berikut:

$$M(27) = \left(\frac{MTTF}{F(t)} \right) = \left(\frac{MTTF}{1 - R(t)} \right) = \left(\frac{MTTF}{1 - 0.460} \right) = 45.6835865$$

$$D(t) = \left(\frac{Tp \cdot R(t) + Tf \cdot (F(t))}{(t + Tp) \cdot R(t) + [M(t) + Tf] \cdot (F(t))} \right)$$

$$D(27) = 0.034119$$

Age Replacemet = 27 hari
 Avaluability = 1 - Min D(t)
 = 0.96588133

Tabel 8. Perhitungan *Age replacement* dengan Minimasi *Downtime*

T	F(t)	R(t)	Tp*R(t)	Tf*F(t)	M(t)	D(t)
10	0,251	0,749	0,980666	0,329334	98,0906921	0,039156
11	0,264	0,736	0,963767	0,346233	93,3030647	0,038458
12	0,281	0,719	0,942021	0,367979	87,7892488	0,037862
13	0,298	0,702	0,91962	0,39038	82,7516779	0,037326
14	0,312	0,688	0,90128	0,40872	79,0384615	0,036796
21	0,436	0,564	0,738316	0,571684	56,507791	0,034651
22	0,452	0,548	0,717618	0,592382	54,5333923	0,034454
23	0,472	0,528	0,69168	0,61832	52,2457627	0,034371
24	0,488	0,512	0,67072	0,63928	50,5327869	0,034241
25	0,504	0,496	0,649891	0,660109	48,9382814	0,034139
26	0,524	0,476	0,623691	0,686309	47,0700515	0,034160
27	0,540	0,460	0,602862	0,707138	45,6835865	0,034119
28	0,560	0,440	0,576924	0,733076	44,0671909	0,034203
29	0,579	0,421	0,551248	0,758752	42,5759669	0,034317
30	0,595	0,405	0,530812	0,779188	41,4593141	0,034360

Tabel 9. *Age replacement* masing-masing komponen Kritis

Komponen	MTTF	D(t)	Age replacement	Availability
Bearing screen	24,66	0,03411867	27	0,9658813
Couchroll 5	48,5	0,01860762	41	0,9813924
HP shower	33,5	0,02014	41	0,97986
Long felt	31,74	0,02782	22	0,97218
Stretcher Long felt	49	0,01896	38	0,98104
Wire 1	64,42	0,04966	65	0,95034
Wire 9	46	0,026816	41	0,973184
Gearbox dryer	22,48	0,09657957	19	0,9034204
Bearing dryer	24,25	0,11781046	25	0,8821895
Canvas roll	40,72	0,0349372	41	0,9650628
Pulley tali rope	29,52	0,0402651	24	0,9597349
Rotary	20,7	0,0565448	21	0,9434552
Body rotary	24,86	0,0553188	17	0,9446812

3.6. Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan yang Optimal

Diketahui pada masing-masing komponen rata-rata waktu pemeriksaan adalah sebagai berikut. Data tersebut nantinya digunakan untuk menghitung pemeriksaan yang optimal pada masing-masing komponen. Rata-rata waktu pemeriksaan tiap komponen dapat dilihat pada Tabel 10, sedangkan perhitungan interval pemeriksaan optimal dilihat pada Tabel 11.

Tabel 10. Rata-Rata waktu pemeriksaan tiap komponen

Komponen	Waktu pemeriksaan(menit)
<i>Bearing screen</i>	30
<i>Couchroll 5</i>	15
<i>HP shower</i>	10
<i>Long felt</i>	15
<i>Stretcher Long felt</i>	15
<i>Wire 1</i>	15
<i>Wire 9</i>	15
<i>Gearbox dryer</i>	30
<i>Bearing dryer</i>	30
<i>Canvas roll</i>	20
<i>Pulley tali rope</i>	20
<i>Rotary</i>	45
<i>Body rotary</i>	30

Contoh perhitungan pada komponen *Bearing screen*. $t = 1$ bulan = 24 jam x 30 hari = 720 jam/bulan
jumlah kerusakan *bearing screen* selama 7 bulan = 6 kali

$$k = \frac{6}{7} = 0.857143$$

$$MTTR = 31.44 \text{ jam}$$

$$t = 720 \text{ jam/bulan}$$

$$1/\mu = MTTR / t = 0.04367$$

$$\mu = 22.9007$$

- waktu rata-rata melakukan pemeriksaan

$$T_i = 30 = 0.5 \text{ jam}$$

$$1/I = T_i/t = 0.5/720 = 0.000694$$

$$i = 1440$$

- frekuensi dan interval pemeriksaan

$$n = \sqrt{\frac{k \cdot I}{\mu}} = \sqrt{\frac{0.857143 \cdot 1440}{22.9007}} = 7.3414$$

$$\text{interval pemeriksaan} = t/n = 720/7.3414 = 98.073 \text{ jam}$$

$$\text{interval pemeriksaan} = 4 \text{ hari}$$

- nilai *downtime*

$$D(n) = \frac{k}{\mu \cdot n} + \frac{1}{i}$$

$$D(n) = \frac{0.857143}{22.9007 \cdot 7.3414} + \frac{1}{1440}$$

$$D(n) = 0.005793$$

- availability*

$$A(tp) = 1 - D(tp)_{\min}$$

$$= 0.99421$$

Tabel 11. Rekapitulasi perhitungan interval pemeriksaan optimal

Komponen	Interval pemeriksaan (hari)
<i>Bearing screen</i>	4
<i>Couchroll 5</i>	3
<i>HP shower</i>	3
<i>Long felt</i>	3
<i>Stretcher Long felt</i>	4
<i>Wire 1</i>	3
<i>Wire 9</i>	3
<i>Gearbox dryer</i>	2
<i>Bearing dryer</i>	2
<i>Canvas roll</i>	3
<i>Pulley tali rope</i>	3
<i>Rotary</i>	4
<i>Body rotary</i>	3

3.7. Penentuan Availability

Nilai *availability* digunakan untuk melihat apakah probabilitas dari komponen tersebut berfungsi seperti yang diharapkan atau tidak. Semakin besar persentase yang didapatkan maka nilai tersebut menunjukkan bahwa probabilitas tersebut berfungsi seperti yang diharapkan. Nilai *availability* total dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Nilai *Availability* total

Komponen	<i>Availability</i> [D(n)]	<i>Availability</i> [D(tp)]	<i>Availability</i> total D(n) * D(tp)
<i>Bearing screen</i>	0,9658813	0,99421	0,960289
<i>Couchroll 5</i>	0,9813924	0,99661	0,978065
<i>HP shower</i>	0,97986	0,99762	0,977528
<i>Long felt</i>	0,97218	0,99608	0,968369
<i>Stretcher Long felt</i>	0,98104	0,99694	0,978038
<i>Wire 1</i>	0,95034	0,99610	0,946634
<i>Wire 9</i>	0,973184	0,99604	0,96933
<i>Gearbox dryer</i>	0,9034204	0,98903	0,89351
<i>Bearing dryer</i>	0,8821895	0,98549	0,869389
<i>Canvas roll</i>	0,9650628	0,99441	0,959668
<i>Pulley tali rope</i>	0,9597349	0,99434	0,954303
<i>Rotary</i>	0,9434552	0,98930	0,93336
<i>Body rotary</i>	0,9446812	0,98992	0,935159

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan, komponen dari bagian *Wire* dan *Dryer* yang perlu untuk melakukan usulan penjadwalan dan pemeriksaan yang optimal dilakukan dengan analisis menggunakan metode FMEA yaitu komponen *Bearing Screen*, *Couchroll*, *HP Shower*, *Long Felt*, *Stretcher Long Felt*, *wire 1*, *wire 9*, *Gearbox dryer*, *Bearing dryer*, *Canvas roll*, *Pulley talirope*, *Rotary*, *Body rotary*. Usulan penjadwalan penggantian yang dihasilkan dengan menggunakan metode *Age replacement* adalah *Bearing screen* tiap 27 hari, *Couchroll 5* tiap 41 hari, *HP shower* tiap 41 hari, *Long felt* tiap 22 hari, *Stretcher Long felt* tiap 38 hari, *wire 1* tiap 65 har, *Wire 9* tiap 41 hari, *Gearbox dryer* tiap 19 hari, *Bearing dryer* tiap 25 hari, *Canvas roll* tiap 41 hari, *Pulley tali rope* 24 hari, *Rotary* tiap 21 hari, dan *Body rotary* tiap 17 hari. Masing-masing komponen dilakukan pemeriksaan selama 2-4 hari sekali. Berdasarkan hasil dari usulan penjadwalan tersebut nilai *availability* yang didapatkan pada masing-masing komponen yaitu 99% yang menunjukkan bahwa

dengan menggunakan metode RCM dan melakukan penjadwalan dengan metode *Age replacement* bahwa probabilitas berfungsi seperti yang diharapkan.

5. Daftar Pustaka

- Akbar, M. R., & Widiasih, W. (2022). Analisis Perawatan Mesin Bubut dengan Metode *Preventive Maintenance* Guna Menghindari Kerusakan Secara Mendadak dan Untuk Menghitung Biaya Perawatan. *Jurnal SENOPATI: Sustainability, Ergonomics, Optimization, and Application of Industrial Engineering*, 4(1), 32-45.
- Assagaf, M. K. Perencanaan Interval Waktu Perawatan Mesin Induksi Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II dan *Age Replacement* (Studi Kasus: CV. SUMBER BAJA PERKASA) (Doctoral dissertation, UIN Sunan Kalijaga).
- Kumala, A. C. (2022). Perancangan Penjadwalan Pemeliharaan mesin Produksi untuk Meningkatkan Keandalan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) (Studi Kasus: PT. Intimas Surya, Pelabuhan Benoa, Bali) (Doctoral dissertation, UPN Veteran Yogyakarta).
- Pranowo, I. D. (2019). Sistem dan Manajemen Pemeliharaan. Sleman Yogyakarta: Deepublish (CV Budi Utomo)
- Raharja, I. P., & Suardika, I. B. (2021). Analisis Sistem Perawatan Mesin Bubut Menggunakan Metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*) Di Cv. Jaya Perkasa Teknik. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 11(1), 39-48.
- Shinta H, Yanti R, Qurtubi. (2021). Analisis Perawatan Mesin dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) terhadap Mesin *Air Jet Loom* (AJL).
- Suwandy, R. (2019). Analisa Perawatan Mesin Digester Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Pada PTPN II Pagar Merbau. Universitas Medan Area. Medan.
- Syafei, M. I., & Suhendar, E. (2022). Analisis Perawatan Mesin dengan Pendekatan *Metode Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Maintenance Value Stream Map* (MVSM) (Studi Kasus di PT. Nusa Indah Jaya Utama). *Integrasi: Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 7(2), 67-75.
- Taufik, T., & Septyani, S. (2015). Penentuan interval waktu perawatan komponen kritis pada mesin turbin di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin. *jurnal optimasi sistem industri*, 14(2), 238-258.
- Widiasih, W. (2019). Perhitungan Biaya Penggantian Komponen dengan Mempertimbangkan Penjadwalan Perawatan pada Mesin *Bucket Raw Material*. *Tekmapro: Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(2), 68-76