Indonesian Journal of Innovation Studies
Vol. 25 No. 3 (2024): July
DOI: 10.21070/ijins.v25i3.1157

Unlocking Global Efficiency with Enhanced Milling Machines Worldwide: Membuka Efisiensi Global dengan Mesin Penggilingan Ditingkatkan di Seluruh Dunia

Wiwik Puji Lestari Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia
Indah Apriliana Sari Wulandari Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Tedjo Sukmono Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia
Ribangun Bamban Jakaria Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

This study investigates the effectiveness of six milling machines at PT. INKA, a railroad car manufacturing company, focusing on CNC Plano 133 and Horizontal Milling 142. Utilizing Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Age Replacement methods, the research aims to optimize machine performance and propose preventive maintenance strategies. Data spanning from January 2021 to December 2022 were collected and analyzed. Results indicate that both CNC Plano 133 and Horizontal Milling 142 exhibit suboptimal OEE values, primarily due to breakdown losses. Applying Age Replacement within 10 days significantly enhances reliability, with post-replacement reliability reaching 100%. The findings underscore the importance of preventive maintenance in improving milling machine reliability and overall productivity, thereby enhancing competitiveness and sustainability in the manufacturing sector.

Highlight:

Improved productivity: Preventive maintenance boosts milling machines' reliability and effectiveness.

Resource efficiency: Analyzing OEE minimizes downtime, optimizes production output.

Competitive edge: Enhanced performance sustains competitiveness, strengthens manufacturing sector's sustainability.

Keyword: Milling machines, Overall Equipment Effectiveness (OEE), Preventive maintenance, Age Replacement, Manufacturing industry

Pendahuluan

Pada era perkembangan teknologi saat ini, hampir semua sektor mengalami perkembangan yang sangat pesat. Akibat dari perkembangan ini dapat meningkatkan persaingan diantara perusahaan-perusahaan. Hal tersebut menjadikan perusahaan agar lebih memperhatikan kualitas produk yang dihasilkan, sehingga produk dapat bertahan ditengah persaingan yang ada. Dengan proses produksi yang didukung oleh peralatan maupun mesin yang memadai dapat menghasilkan produk yang sesuai dengan kepuasan konsumen. Sehingga dibutuhkan pemeliharaan yang sesuai agar mesin dapat digunakan dengan baik untuk menjaga kualitas produksi.

Pemeliharaan merupakan kegiatan melindungi fasilitas atau peralatan pabrik dengan melakukan perbaikan dan penyesuaian serta penggantian yang dibutuhkan agar menciptakan keadaan operasi yang sesuai dengan yang direncanakan [1]. Kegiatan pemeliharaan yang biasa berada pada suatu perusahaan, yaitu perawatan pencegahan (preventive maintenance), perawatan korektif, perawatan berjalan, perawatan prediktif, perawatan darurat, dan perawatan waktu terjadi kerusakan [2]. Beberapa tujuan utama dari adanya pemeliharaan, antara lain menjaga keselamatan bagi pengguna mesin, memaksimalkan kesiapan fungsi semua peralatan sistem produksi dan memelihara ketersediaan dan keandalan peralatan secara ekonomis maupun teknis [3].

PT. Industri Kereta Api atau PT. INKA merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang industri manufaktur, dengan salah satu produk yang dihasilkan yaitu kereta api. Dalam pembuatan gerbong kereta api selalu melewati beberapa proses, mulai dari proses pemotongan hingga proses finishing. Proses-proses tersebut melibatkan beberapa mesin produksi, diantaranya gas cutting, drilling, milling, dan press brake. Namun, selama proses produksi berlangsung, seringkali mengalami kendala kerusakan mesin. Dari semua mesin tersebut, mesin milling yang memiliki jumlah kerusakan paling banyak.

Berdasarkan data perusahaan selama periode tahun 2021 hingga 2022, mesin milling telah mengalami kerusakan sebanyak 43 kali. Beberapa jenis kerusakan yang terjadi pada masing-masing mesin milling, yaitu konveyor rusak pada mesin CNC Plano 133 sebanyak 3 kali, otomatis sumbu X dan Y pada mesin CNC Milling 134 sebanyak 3 kali, otomatis sumbu X dan Y mesin kerja yang bermasalah pada mesin Plano Miller 158 sebanyak 5 kali, mesin tidak bisa dijalankan pada mesin Vertikal Milling 140 sebanyak 3 kali, otomatis sumbu X dan Y meja mesin yang bermasalah pada mesin Vertikal Milling 141 sebanyak 6 kali, serta otomatis sumbu Y meja mesin yang tidak berfungsi pada mesin Horizontal Milling 142.

Penyebab terjadinya kerusakan mesin produksi dikarenakan sistem pemeliharaan yang dilakukan belum maksimal terutama pada mesin berukuran besar. Sistem pemeliharaan mesin dilakukan ketika bagian mesin telah mengalami kerusakan (corrective maintenance). Sehingga menyebabkan terganggunya proses produksi karena mesin produksi tidak bisa dioperasikan.

Beberapa penelitian terdahulu, seperti penelitian yang dilakukan oleh Fadhilah [4], yang dalam penelitiannya tersebut telah menggunakan metode OEE untuk menilai kinerja mesin blanking berdasarkan nilai standar OEE serta mengetahui nilai enam besar kerugian yang menjadi prioritas perbaikan pada mesin blanking. Dalam penelitian tersebut, telah disebutkan beberapa keuntungan dari penggunaan metode OEE dalam lingkungan perusahaan, yaitu: sebagai benchmark untuk mengukur rencana kinerja perusahaan, untuk membandingkan kinerja dalam suatu perusahaan agar mengetahui aliran tidak penting didalamnya, dan mengidentifikasi cara yang tepat dalam peningkatan produktivitas dalam penggunaan mesin.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Rachman [5], yang dalam penelitiannya tersebut menjelaskan tentang penerapan metode Age Replacement dalam menentukan interval waktu penggantian pencegahan dan perbaikan untuk komponen kritis. Dalam penelitian tersebut, dijelaskan bahwa tindakan penggantian dilakukan ketika pengoperasian telah mencapai umur tertentu yang telah ditentukan. Apabila dalam interval waktu yang telah ditentukan terjadi kerusakan, maka akan tetap dilakukan penggantian sebagai tindakan pencegahan. Sedangkan, apabila komponen mengalami kerusakan pada interval waktu tersebut, maka dilakukan tindakan

penggantian perbaikan dan penggantian berikutnya akan dilakukan berdasarkan perhitungan interval waktu terhitung mulai dari waktu penggantian tersebut.

Sehingga penelitian ini dilakukan untuk menentukan pemeliharaan mesin yang tepat dengan menggunakan penggabungan antara dua metode yang sesuai yaitu metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Age Replacement yang diharapkan dapat digunakan untuk mengetahui nilai efektivitas dari keenam mesin milling serta interval waktu penggantian komponen sebagai jadwal pemeliharaan yang sesuai, sehingga dapat meningkatkan produktivitas mesin milling.

Metode

Metode yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian ini yaitu Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Age Replacement. Data yang digunakan yaitu data primer dan data sekunder. Data primer tersebut diperoleh dari hasil observasi atau pengamatan kegiatan kerja serta wawancara kepada staff dan karyawan bagian fabrikasi serta operator dari mesin milling sehingga diperoleh data produk rework, data set up mesin, serta data waktu kerja operator. Sedangkan data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan yang ada yaitu data jumlah produksi yang dihasilkan keenam mesin milling dan data kerusakan mesin produksi selama dua tahun dari bulan Januari 2021 hingga bulan Desember 2022. Data yang tersedia tersebut diolah dengan menggunakan software Microsoft Excel dan Minitab 17.

Tahapan pertama yang dilakukan yaitu menghitung jumlah mesin produksi dengan kerusakan terbanyak untuk dipilih sebagai objek penelitian. Selanjutnya, dilakukan pengolahan data terhadap data jumlah produksi dan cacat yang dihasilkan keenam mesin milling selama dua tahun, data set up mesin, serta data waktu kerja untuk mendapatkan nilai OEE menggunakan software Microsoft Excel. Kemudian, dari hasil perhitungan keenam mesin milling yang belum memenuhi nilai standar OEE akan dilakukan perhitungan Five Big Losses dan analisis Fishbone Diagram untuk menentukan faktor terbesar yang mempengaruhi tidak terpenuhinya nilai standar OEE.

Tahapan kedua yang dilakukan yaitu pengumpulan data waktu kerusakan dan downtime dari keenam mesin milling yang belum memenuhi nilai standar OEE. Selanjutnya, dilakukan pengolahan data menggunakan software Minitab 17 yang terdiri dari beberapa perhitungan yaitu perhitungan Time to Failure (TTF) dan Time to Repair (TTR), penentuan pola distribusi, perhitungan estimasi parameter, perhitungan nilai Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time to Repair (MTTR), perhitungan interval penggantian pencegahan dengan metode Age Replacement, serta perhitungan reliability sebelum dan sesudah penggantian. Dalam penyelesaian permasalahan dalam penelitian ini dapat dijelaskan pada Gambar 2 berikut ini:

Indonesian Journal of Innovation Studies
Vol. 25 No. 3 (2024): July
DOI: 10.21070/ijins.v25i3.1157

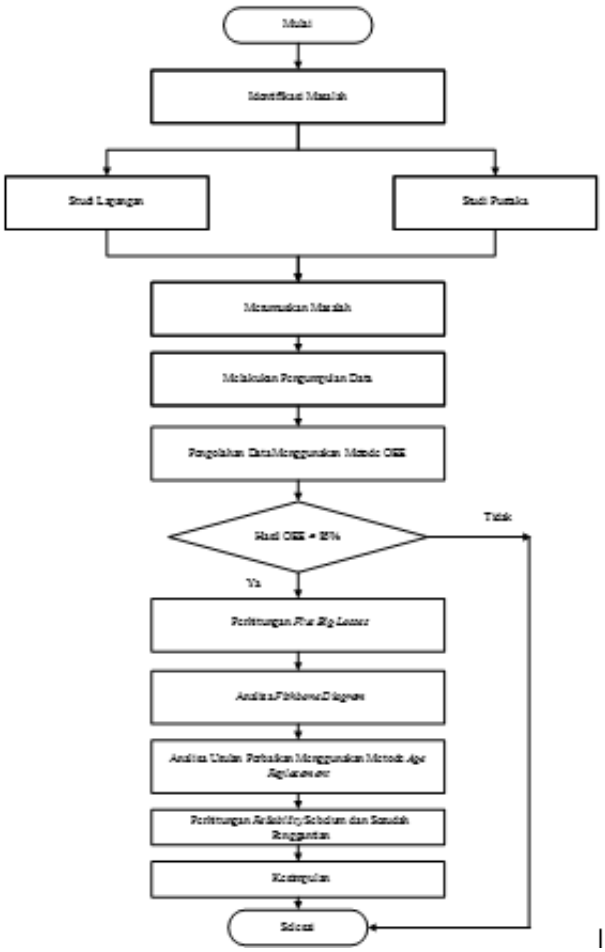

Figure 1. *Diagram Alir Penelitian*

Hasil dan Pembahasan

Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Overall Equipment Effectiveness (OEE) merupakan ukuran efektivitas mesin yang dapat beroperasi secara efisien dalam menghasilkan produk yang baik sesuai dengan jadwal. Dalam perhitungan OEE akan dapat diketahui tiga rasio utama yaitu availability, performance, dan quality. Perhitungannya dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut [6]:

Availability rate

Availability merupakan pengukuran efektivitas terhadap kesiapan mesin dalam menghasilkan suatu produk sesuai dengan jadwal. Berikut rumus perhitungan:

Availability= (operation time)/(loading time) ×100%(1)

Performance rate

Performance merupakan rasio antara actual processing time dengan operation time yang diperlukan untuk menentukan kesiapan mesin dalam memproduksi suatu produk. Berikut rumus perhitungan:

Performance= (actual processing time)/(operation time) ×100%(2)

Quality rate

Quality merupakan pengukuran yang menjelaskan waktu yang dibutuhkan saat proses produksi Berikut rumus perhitungan:

Quality= (processed amount-defect amount)/(processed amount) ×100%(3)

Perhitungan OEE

Berdasarkan ketiga rasio utama OEE, maka didapatkan nilai OEE pada keenam mesin milling selama periode Januari 2021 hingga 2022 dengan rumus perhitungan:

OEE=Availability ×Performance ×Quality(4)

Berikut merupakan hasil perhitungan OEE pada keenam mesin milling selama periode Januari 2021 hingga 2022 yang dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini:

No	Mesin	Available Rate	Performance Rate	Quality Rate	OEE
1	CNC Plano 133	91,34 %	93,59 %	98,50 %	84,20 %
2	CNC Milling 134	96,63 %	93,59 %	98,80 %	89,36 %
3	Plano Miller 158	96,40 %	93,95 %	98,72 %	89,44 %
4	Vertikal Milling 140	96,08 %	93,95 %	98,52 %	88,94 %
5	Vertikal Milling 141	94,11 %	93,95 %	98,34 %	86,96 %
6	Horizontal Milling 142	90,46 %	93,95 %	98,74 %	83,96 %

Table 1. *Rekapitulasi Hasil OEE*

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui dengan nilai ideal OEE yaitu > 85 % [7], maka mesin yang telah memenuhi nilai tersebut adalah mesin CNC Milling 134, Plano Miller 158, Vertikal Milling 140, dan Vertikal Milling 141. Sedangkan untuk mesin CNC Plano 133 dan Horizontal Milling 142 masih belum memenuhi nilai standar OEE. Akan tetapi, dengan kondisi nilai OEE sebesar 84,20 % dan 83,96 % pada mesin CNC Plano 133 dan Horizontal Milling 142 masih cukup handal dan mencapai target produksi.

Oleh karena itu, pada mesin CNC Plano 133 yang mempunyai nilai OEE sebesar 84,20 % dan Horizontal Milling 142 yang mempunyai nilai OEE sebesar 83,96 % dengan masing-masing nilai terendahnya pada Availability rate, maka dibutuhkan analisa lebih lanjut dengan menggunakan perhitungan Six Big Losses serta analisa dengan fishbone diagram untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi nilai tersebut rendah.

Five Big Losses

Analisa Five Big Losses merupakan pengukuran terhadap enam kerugian besar yang digunakan untuk mengidentifikasi kerugian paling banyak yang menyebabkan nilai OEE rendah [8]. Hasil perhitungan Five Big Losses pada mesin CNC Plano 133 dan Horizontal Milling 142 selama periode Januari 2021 hingga Desember 2022 yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

No	Mesin	Breakdown Losses	Idling and Minor Stoppage Losses	Speed Losses	Quality Rework	Setup and Adjustment Losses
1	CNC Plano 133	8,66 %	6,18%	5,86%	1,29%	0,67%

Indonesian Journal of Innovation Studies
Vol. 25 No. 3 (2024): July
DOI: 10.21070/ijins.v25i3.1157

2	Horizontal Milling 142	9,54 %	6,16%	5,47%	1,03%	0,28%

Table 2. *Hasil Perhitungan Five Big Losses*

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa kerugian dengan nilai tertinggi dari Five Big Losses pada mesin CNC Plano 133 dan Horizontal Milling 142 dalam periode Januari 2021 hingga Desember 2022 adalah breakdown losses dengan nilai masing-masing yaitu sebesar 8,66 % dan 9,54 %. Langkah selanjutnya untuk mengetahui penyebab adanya breakdown losses adalah dengan mengidentifikasi faktor penyebabnya menggunakan fishbone analysis. Berikut ini diagram sebab akibat (fishbone) untuk faktor breakdown losses.

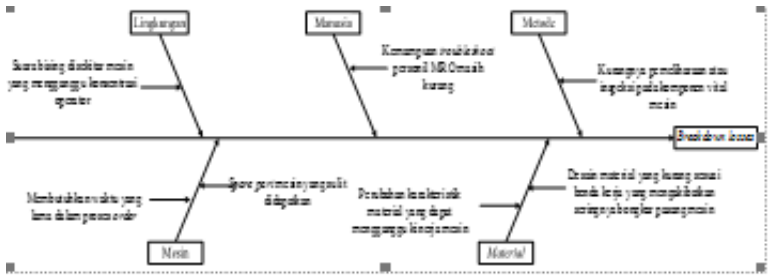

Figure 2. *Fishbone Diagram untuk faktor Breakdown Losses*

Berdasarkan Gambar 2 diatas, analisa dalam fishbone diagram untuk breakdown losses tersebut didapatkan dari hasil wawancara dengan beberapa responden, seperti: operator mesin milling, kepala bagian (kabag) machining dan kepala departemen (kadep) machining di PT. INKA.

Age Replacement

Setelah melakukan perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE), dapat diketahui bahwa nilai OEE dari mesin CNC Plano 133 dan Horizontal Milling 142 masih belum memenuhi nilai standar OEE. Akan tetapi, dengan kondisi nilai OEE sebesar 84,20 % dan 83,96 % pada mesin CNC Plano 133 dan Horizontal Milling 142 masih cukup handal dan mencapai target produksi. Sehingga dilakukan pengolahan data menggunakan metode Age Replacement untuk menentukan interval waktu penggantian pencegahan sebagai usulan perbaikan pada kedua mesin milling tersebut.

Dalam pengolahan data tersebut menggunakan data kerusakan mesin produksi selama periode Januari 2021 hingga Desember 2022. Perhitungan dengan menggunakan metode Age Replacement dapat diperoleh sebagai berikut.

Perhitungan TTF (Time to Failure) dan TTR (Time to Repair)

Nilai Time to Failure (TTF) dan Time to Repair (TTR) merupakan data waktu kerusakan dan waktu perbaikan yang dibutuhkan untuk perhitungan serta penentuan distribusi data yang digunakan [9]. Berikut merupakan data interval waktu antar kerusakan (TTF) dapat dilihat pada Tabel 3, sedangkan untuk interval waktu antar perbaikan (TTR) dapat dilihat pada Tabel 4.

No	Mulai Downtime	Selesai Downtime	Ti (Hari)	Mulai Downtime	Selesai Downtime	Ti (Hari)
	CNC Plano 133			Horizontal Milling 142		
1	08/03/2021	08/03/2021	0	24/03/2021	08/04/2021	0
2	18/06/2021	18/06/2021	63	19/08/2021	02/09/2021	75
3	16/08/2021	16/08/2021	40	19/03/2022	18/04/2022	134

4	02/09/2021	02/09/2021	12	17/06/2022	14/07/2022	35
5	12/10/2021	12/10/2021	28	30/08/2022	30/08/2022	32
6	09/12/2021	15/12/2021	41			
7	24/12/2021	24/12/2021	6			
8	17/06/2022	23/06/2022	111			
9	28/07/2022	29/07/2022	25			

Table 3. *Data Interval Waktu Antar Kerusakan (TTF)*

Berdasarkan Tabel 3 diatas, dapat diketahui untuk interval waktu kerusakan (TTF) pada mesin CNC Plano 133 pada bulan Agustus – Desember 2022 tidak ditemukan adanya kerusakan mesin. Sedangkan, untuk interval waktu kerusakan (TTF) pada mesin Horizontal Milling 142 pada bulan September – Desember 2022 tidak ditemukan adanya kerusakan mesin. Hal tersebut dikarenakan telah dilakukan penggantian atau perbaikan pada komponen yang sering mengalami kerusakan.

No	Mulai Downtime	Selesai Downtime	Dti (Jam)	Mulai Downtime	Selesai Downtime	Dti (Jam)
	CNC Plano 133			Horizontal Milling 142		
1	08/03/2021	08/03/2021	3	24/03/2021	08/04/2021	240
2	18/06/2021	18/06/2021	24	19/08/2021	02/09/2021	192
3	16/08/2021	16/08/2021	3	19/03/2022	18/04/2022	480
4	02/09/2021	02/09/2021	2	17/06/2022	14/07/2022	480
5	12/10/2021	12/10/2021	3	30/08/2022	30/08/2022	2
6	09/12/2021	15/12/2021	96			
7	24/12/2021	24/12/2021	4			
8	17/06/2022	23/06/2022	120			
9	28/07/2022	29/07/2022	48			

Table 4. *Data Interval Waktu Perbaikan (TTR)*

Berdasarkan Tabel 4 diatas, dapat diketahui untuk interval waktu perbaikan (TTR) komponen pada mesin CNC Plano 133 hanya dilakukan hingga pada bulan Juli 2022. Sedangkan, untuk interval waktu perbaikan (TTR) komponen pada mesin Horizontal Milling 142 hanya dilakukan hingga pada bulan Agustus 2022. Hal tersebut dikarenakan pada bulan selanjutnya tidak ditemukan adanya kerusakan.

Penentuan Pola Distribusi TTF dan TTR

Untuk menentukan pola data yang terbentuk, maka digunakan 4 macam distribusi, yaitu: distribusi normal, distribusi lognormal, distribusi Weibull, dan distribusi eksponensial. Distribusi normal adalah salah satu jenis distribusi yang paling umum digunakan untuk mengambarkan penyebaran data. Distribusi lognormal merupakan distribusi waktu antar kegagalan dengan karakteristik memiliki dua parameter, yaitu parameter lokasi (μ) dan parameter skala (σ). Distribusi Weibull adalah distribusi yang paling umum digunakan untuk memaparkan data kerusakan, karena dapat melengkapi beberapa periode kerusakan yang terjadi, antara lain periode awal (early failure), periode normal, dan periode pengausan (wear out). Distribusi eksponensial adalah distribusi yang digunakan untuk menghitung kehandalan dari distribusi kegagalan yang memiliki laju kegagalan konstan [10].

Penentuan pola distribusi TTF bisa diperoleh dari data waktu antar kerusakan pada tabel 3. Sedangkan untuk pola distribusi TTR bisa diperoleh dari data waktu antar perbaikan pada tabel 4. Selanjutnya, dilakukan pengujian dari data tersebut dengan bantuan software Minitab 17. Berikut merupakan pola distribusi dari TTF yang dapat dilihat pada Tabel 5, sedangkan pola distribusi dari TTR dapat dilihat pada Tabel 6.

No	Mesin	Distribusi	AD
1	CNC Plano 133	Lognormal	1,705
		Weibull	1,681
		Normal	1,946
		Eksponensial	1,864
2	Horizontal Milling 142	Lognormal	3,034
		Weibull	2,998
		Normal	3,066
		Eksponensial	3,099

Table 5. *Pola Distribusi TTF*

Berdasarkan Tabel 5 diatas, untuk mengetahui suatu data mengikuti distribusi yang ada dapat dipilih dari nilai statistik Anderson-Darling yang paling kecil [11]. Sehingga, pola distribusi data waktu antar kerusakan (TTF) pada mesin CNC Plano 133 adalah Weibull dengan nilai 1,681 dan pola distribusi data waktu antar kerusakan (TTF) pada pada mesin Horizontal Milling 142 adalah Weibull dengan nilai 2,998.

No	Mesin	Distribusi	AD
1	CNC Plano 133	Lognormal	2,068
		Weibull	1,994
		Normal	2,311
		Eksponensial	3,184
2	Horizontal Milling 142	Lognormal	3,171
		Weibull	3,203
		Normal	3,208
		Eksponensial	3,373

Table 6. *Pola Distribusi TTR*

Berdasarkan Tabel 6 diatas, untuk mengetahui suatu data mengikuti distribusi yang ada dapat dipilih dari nilai statistik Anderson-Darling yang paling kecil [11]. Sehingga, untuk pola distribusi data waktu antar perbaikan (TTR) pada mesin CNC Plano 133 adalah Weibull dengan nilai 1,994 dan pola distribusi data waktu antar perbaikan (TTR) pada mesin Horizontal Milling 142 adalah Lognormal dengan nilai 3,171.

Perhitungan Estimasi Parameter

Perhitungan parameter bertujuan untuk mendapatkan nilai dari parameter bentuk, skala, dan lokasi setelah pola distribusi telah diperoleh [12]. Sehingga hasil parameter distribusi dapat diketahui dari pengujian distribusi dengan bantuan software Minitab 17. Berikut merupakan parameter distribusi data TTF yang dapat dilihat pada Tabel 7, sedangkan parameter distribusi data TTR dapat dilihat pada Tabel 8.

No	Mesin	Distribusi	Parameter	Nilai
1	CNC Plano 133	Weibull	β (bentuk)	1,34918
			θ (skala)	44,5999
2	Horizontal Milling 142	Weibull	β (bentuk)	1,80404
			θ (skala)	78,2386

Table 7. *Parameter Distribusi Kerusakan*

Berdasarkan Tabel 7 parameter distribusi kerusakan diatas, diketahui bahwa pola distribusi

kerusakan dari mesin CNC Plano 133 adalah Weibull, sehingga didapatkan hasil β (shape parameter) sebesar 1,34918 dan θ (scale parameter) sebesar 44,5999. Sedangkan, pola distribusi kerusakan dari mesin Horizontal Milling 142 adalah Weibull, sehingga didapatkan hasil β (shape parameter) sebesar 1,80404 dan θ (scale parameter) sebesar 78,2386.

No	Mesin	Distribusi	Parameter	Nilai
1	CNC Plano 133	Weibull	β (bentuk)	0,6712
			θ (skala)	25,2231
2	Horizontal Milling 142	Lognormal	tmed (lokasi)	4,7558
			s (bentuk)	2,0642

Table 8. *Parameter Distribusi Perbaikan*

Berdasarkan Tabel 8 parameter distribusi perbaikan diatas, diketahui bahwa pola distribusi perbaikan dari mesin CNC Plano 133 adalah Weibull, sehingga didapatkan hasil β (shape parameter) sebesar 0,6712 dan θ (scale parameter) sebesar 25,2231. Sedangkan, pola distribusi perbaikan dari mesin Horizontal Milling 142 adalah Lognormal, sehingga didapatkan hasil s (parameter bentuk) sebesar 2,0642 dan tmed (parameter lokasi) sebesar 4,7558.

Perhitungan Nilai MTTF dan MTTR

Mean Time to Failure (MTTF) merupakan jumlah rata-rata waktu antar kerusakan yang akan dialami oleh suatu sistem. Sedangkan, Mean Time to Repair (MTTR) merupakan waktu yang dibutuhkan dalam proses perbaikan pada mesin yang rusak [13]. Dalam penelitian ini, perhitungan MTTF untuk mesin CNC Plano 133 dan Horizontal Milling 142 dihitung menggunakan distribusi Weibull. Sedangkan, perhitungan MTTR untuk mesin CNC Plano 133 dihitung menggunakan distribusi Weibull dan Horizontal Milling 142 dihitung menggunakan distribusi Lognormal. Hasil perhitungan MTTF dan MTTR pada mesin CNC Plano 133 dan Horizontal Milling 142 dapat dilihat pada Tabel 9 berikut ini:

No	Mesin	MTTF (Hari)	MTTR (Jam)
1	CNC Plano 133	40,9021	33,2949
2	Horizontal Milling 142	69,5691	978,608

Table 9. *MTTF dan MTTR*

Berdasarkan data pada Tabel 9, diperoleh hasil perhitungan MTTF dan MTTR untuk mesin CNC Plano 133 dan Horizontal Milling 142 dengan bantuan software Minitab 17. Dari perhitungan MTTF diperoleh waktu rata-rata antar kerusakan mesin CNC Plano 133 sebesar 40,9021 hari, yang artinya mesin CNC Plano 133 akan mengalami kerusakan kembali setelah beroperasi selama 41 hari. Untuk mesin Horizontal Milling 142 sebesar 69,5691 hari, yang artinya mesin Horizontal Milling 142 akan mengalami kerusakan kembali setelah beroperasi selama 70 hari.

Sedangkan, dari perhitungan MTTR diperoleh waktu rata-rata antar perbaikan mesin CNC Plano 133 sebesar 33,2949 jam, yang artinya waktu yang dibutuhkan dalam proses perbaikan pada mesin CNC Plano 133 adalah 33,2949 jam ≈ 2 hari. Untuk mesin Horizontal Milling 142 sebesar 978,608 jam, yang artinya waktu yang dibutuhkan dalam proses perbaikan pada mesin Horizontal Milling 142 adalah 978,608 jam ≈ 41 hari.

Interval Waktu Penggantian Pencegahan dengan Metode Age Replacement

Model penggantian pencegahan yang digunakan adalah metode Age Replacement yaitu model penggantian dimana interval waktu penggantian komponen diwujudkan dengan menyesuaikan

masa pakai komponen tersebut, sehingga dapat mengurangi terjadinya penggantian peralatan yang masih baru dipasangkan akan diganti dalam waktu yang relatif pendek. Untuk memperoleh interval waktu penggantian pencegahan dapat diperoleh dari perhitungan yang bersifat trial and error [14]. Rumus model penentuan interval penggantian adalah [15]:

$$D(t_p) = ((T_p \times R(t_p)) + (T_f \times [1 - R(t_p)])) / (((t_p + T_p) \times R(t_p)) + ((M(t_p) + T_f) \times [1 - R(t_p)])) \quad (5)$$

Keterangan:

T_p: waktu penggantian pencegahan

T_f: waktu penggantian kerusakan

t_p: interval waktu perawatan pencegahan

$F(t_p)$: fungsi distribusi interval antar kerusakan yang terjadi

$R(t_p)$: peluang terjadinya penggantian pencegahan pada saat t_p

$M(t_p)$: waktu rata-rata terjadi kerusakan jika penggantian pencegahan dilakukan t_p

$D(t_p)$: downtime per satuan waktu

Hasil perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi downtime pada komponen mesin CNC Plano 133 yang dapat dilihat pada Tabel 10 dan pada komponen Horizontal Milling 142 dapat dilihat pada Tabel 11 berikut ini:

tp	R (tp)	F (tp)	M (tp)	D (tp)
1	0,970205	0,029795	1372,7968	0,442944
2	0,941298	0,058702	696,7786	0,437632
3	0,913253	0,086747	471,5079	0,432757
4	0,886042	0,113958	358,9240	0,428279
5	0,859643	0,140357	291,4149	0,424165
6	0,834030	0,165970	246,4431	0,420384
7	0,809181	0,190819	214,3497	0,416909
8	0,785071	0,214929	190,3054	0,413717
9	0,761680	0,238320	171,6270	0,410784
10	0,738986	0,261014	156,7047	0,408091

Table 10. *Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Mesin CNC Plano 133*

Berdasarkan Tabel 10 diatas, dapat diketahui hasil perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi downtime pada mesin CNC Plano 133 didapatkan dari nilai D (tp) yang paling kecil yaitu pada interval hari ke 10 dengan nilai downtime sebesar 0,408091. Sehingga interval waktu penggantian pencegahan komponen pada mesin CNC Plano 133 dilakukan pada hari ke 10.

tp	R (tp)	F (tp)	M (tp)	D (tp)
1	0,977208	0,022792	3052,3421	0,932759
2	0,954935	0,045065	1543,7638	0,931930
3	0,933170	0,066830	1040,9935	0,931142
4	0,911902	0,088098	789,6751	0,930391
5	0,891118	0,108882	638,9375	0,929677
6	0,870807	0,129193	538,4903	0,928998

7	0,850960	0,149040	466,7803	0,928353
8	0,831565	0,168435	413,0312	0,927740
9	0,812612	0,187388	371,2560	0,927159
10	0,794090	0,205910	337,8624	0,926609

Table 11. *Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Mesin Horizontal Milling 142*

Berdasarkan Tabel 11, dapat diketahui hasil perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi downtime pada komponen mesin Horizontal Milling 142 didapatkan dari nilai D (tp) yang paling kecil yaitu pada interval hari ke 10 dengan nilai downtime sebesar 0,926609. Sehingga interval waktu penggantian pencegahan komponen pada mesin Horizontal Milling 142 dilakukan pada hari ke 10.

Perhitungan Reliability Komponen Sebelum dan Sesudah Penggantian Pencegahan

Reliability (kehandalan) merupakan peluang bahwa suatu sistem dapat melakukan kemampuan yang diinginkan selama rentang waktu yang ada apabila digunakan pada keadaan pengoperasian yang sudah ditetapkan [16]. Keandalan dapat dinyatakan memiliki dua kondisi yaitu baik dan rusak sehingga jika keandalan bernilai 1, maka sistem dapat dipastikan dalam kondisi baik dan jika bernilai 0, maka sistem dapat dipastikan dalam kondisi rusak. Atau nilai keandalan dapat dinyatakan dalam kisaran $0 \leq R(t) \leq 1$ [17].

Setelah melakukan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan, maka dapat menghitung nilai reliability atau keandalan pada komponen yang telah dilakukan penggantian. Rumus perhitungan reliability adalah sebagai berikut [18].

Adapun nilai reliability tanpa penggantian pencegahan yaitu:

$$R(t)=e^{[-(t/\theta)^{\beta}]} \quad (6)$$

Nilai reliability dengan penggantian pencegahan yaitu:

$$R(t-nT)=e^{[-((t-nT)/\theta)^{\beta}]} \quad (7)$$

Hasil perhitungan reliability komponen sebelum dan sesudah penggantian pencegahan pada mesin CNC Plano 133 yang dapat dilihat pada Tabel 12 dan pada mesin Horizontal Milling 142 dapat dilihat pada Tabel 13 berikut ini:

t	R (t)	n	T	t-nT	R (t-nT)	R (t-nT) – R (t)
1	0,970205	0	0	1	0,970205	0 %
2	0,941298	0	0	2	0,941298	0 %
3	0,913253	0	0	3	0,913253	0 %
4	0,886042	0	0	4	0,886042	0 %
5	0,859643	0	0	5	0,859643	0 %
6	0,834030	0	0	6	0,834030	0 %
7	0,809181	0	0	7	0,809181	0 %
8	0,785071	0	0	8	0,785071	0 %
9	0,761680	0	0	9	0,761680	0 %
10	0,738986	1	10	0	1,000000	26 %
11	0,716968	1	10	1	0,970205	25 %
12	0,695606	1	10	2	0,941298	25 %
13	0,674881	1	10	3	0,913253	24 %
14	0,654773	1	10	4	0,886042	23 %
15	0,635264	1	10	5	0,859643	22 %

16	0,616337	1	10	6	0,834030	22 %
17	0,597973	1	10	7	0,809181	21 %
18	0,580157	1	10	8	0,785071	20 %
19	0,562871	1	10	9	0,761680	20 %
20	0,546101	2	10	0	1,000000	45 %

Table 12. *Reliability Komponen pada Mesin CNC Plano 133*

Berdasarkan Tabel 12 diatas, nilai reliability komponen pada mesin CNC Plano 133 sebelum dilakukan penggantian pencegahan menggunakan metode Age Replacement adalah 73,90 %. Namun, setelah dilakukannya penggantian pencegahan nilai reliability komponen pada mesin CNC Plano 133 meningkat sebesar 26 % dari 73,90 % menjadi 100%.

t	R (t)	n	T	t-nT	R (t-nT)	R (t-nT) – R (t)
1	0,977208	0	0	1	0,977208	0 %
2	0,954935	0	0	2	0,954935	0 %
3	0,933170	0	0	3	0,933170	0 %
4	0,911902	0	0	4	0,911902	0 %
5	0,891118	0	0	5	0,891118	0 %
6	0,870807	0	0	6	0,870807	0 %
7	0,850960	0	0	7	0,850960	0 %
8	0,831565	0	0	8	0,831565	0 %
9	0,812612	0	0	9	0,812612	0 %
10	0,794090	1	10	0	1,000000	21 %
11	0,775991	1	10	1	0,977208	20 %
12	0,758305	1	10	2	0,954935	20 %
13	0,741022	1	10	3	0,933170	19 %
14	0,724132	1	10	4	0,911902	19 %
15	0,707628	1	10	5	0,891118	18 %
16	0,691500	1	10	6	0,870807	18 %
17	0,675739	1	10	7	0,850960	18 %
18	0,660337	1	10	8	0,831565	17 %
19	0,645287	1	10	9	0,812612	17 %
20	0,630580	2	10	0	1,000000	37 %

Table 13. *Reliability Komponen pada Mesin Horizontal Milling 142*

Berdasarkan Tabel 13 diatas, nilai reliability komponen pada mesin Horizontal Milling 142 sebelum dilakukan penggantian pencegahan menggunakan metode Age Replacement adalah 79,41 %. Namun, setelah dilakukannya penggantian pencegahan nilai reliability komponen pada mesin Horizontal Milling 142 meningkat sebesar 21 % dari 79,41 % menjadi 100%.

Simpulan

Berdasarkan hasil analisa yang didapat, nilai rata-rata OEE pada masing-masing mesin milling pada periode bulan Januari 2021 hingga Desember 2022, antara lain mesin Plano Miller 158 sebesar 89,44 %, CNC Milling 134 sebesar 89,36 %, Vertikal Milling 140 sebesar 88,94 %, Vertikal Milling 141 sebesar 86,96 %, CNC Plano 133 sebesar 84,20 % dan Horizontal Milling 142 sebesar 83,96 %. Dari masing-masing mesin tersebut yang belum memenuhi nilai ideal OEE adalah mesin CNC Plano 133 sebesar 84,20 % < 85 % dan mesin Horizontal Milling 142 sebesar 83,96 % < 85 %. Dengan nilai terbesar kerugian dari Five Big Losses pada mesin CNC Plano 133 dan Horizontal Milling 142 adalah breakdown losses dengan masing-masing nilai sebesar 8,66 % dan 9,54 %. Selanjutnya, usulan perawatan preventif dengan metode Age Replacement pada mesin milling yang belum

memenuhi nilai ideal OEE yaitu pada mesin CNC Plano 133 yang memiliki interval waktu penggantian komponen dalam 10 hari. Sehingga peningkatan nilai reliability komponen sebelum dan sesudah dilakukannya penggantian pencegahan pada mesin CNC Plano 133 adalah sebesar 26 % dari 73,90 % menjadi 100 %. Sedangkan, pada mesin Horizontal Milling 142 yang memiliki interval waktu penggantian komponen dalam 10 hari. Sehingga peningkatan nilai reliability komponen sebelum dan sesudah dilakukannya penggantian pencegahan pada mesin Horizontal Milling 142 adalah sebesar 21 %, dari 79,41 % menjadi 100 %.

References

1. [1] L. Irdiansyah and E. Ludiya, “Pemeliharaan Korektif Mesin Cetak Offset 4 Warna Pada Cv. Aries Anugrah Karya Utama,” J. Adm. Bisnis, vol. 18, no. 1, pp. 1–16, 2022, doi: 10.26593/jab.v18i1.5535.1-16.
2. [2] S. A. Pratama, B. I. Putra, T. Industri, F. Sains, and U. M. Sidoarjo, “Analysis of Machine Maintenance Using Markov,” Semin. Nas. Inov. Teknol., pp. 208–214, 2022.
3. [3] M. A. dan A. Z. Sultan, "Manajemen Perawatan", Pertama. Yogyakarta: Deepublish, 2018.
4. [4] B. Fadhilah, P. Aulia, and A. J. Pratama, “Overall Equipment Effectiveness (OEE) Analysis to Minimize Six Big Losses in Continuous Blanking Machine,” IJIEM (Indonesian J. Ind. Eng. Manag., vol. 1, no. 1, pp. 25–32, 2020.
5. [5] T. Rachman, D. N. Watunglawar, M. D. Amperajaya, S. R. Adnan, and I. K. Sriwana, “Penentuan Interval Waktu Penggantian dan Perbaikan Komponen Kritis Mesin Bubut Type SS-850 di PT. Hamdan Jaya Makmur Dengan Metode Age Replacement,” J. METRIS, vol. 23, no. 01, pp. 52–61, 2022, doi: 10.25170/metris.v23i01.3547.
6. [6] J. Guritno and A. S. Cahyana, “Implementasi Autonomous Maintenance Dalam Penerapan Total Productive Maintenance,” Procedia Eng. Life Sci., vol. 1, no. 2, 2021.
7. [7] I. D. Pranowo, "Sistem dan Manajemen Pemeliharaan", Pertama. Yogyakarta: Deepublish, 2019.
8. [8] T. dan N. Y. A. Ahdiyat, “Analisis Kinerja Mesin Bandsaw Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses pada PT Quartindo Sejati Furnitama,” J. Cakrawala Ilm., vol. 2, no. 1, pp. 221–234, 2022.
9. [9] N. M. Hidayatulloh and T. Sukmono, “Penentuan Interval Perawatan Peralatan Instrumentasi Produksi Pada Industri Kertas,” Product. Optim. Manuf. Syst., vol. 4, no. 1, pp. 23–31, 2020.
10. [10] L. Hakim, “Implementasi RCM pada mesin diesel Deutz 20 kVA,” J. Progr. Stud. Tek. Mesin UM Metro, vol. 10, no. 1, pp. 42–52, 2021.
11. [11] A. B. S. dan S. H. Mutiawati, “Usulan Jadwal Preventive Maintenance Komponen Ban,” INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya, vol. 7, no. 2, pp. 137–146, 2021.
12. [12] E. A. Agustiawan, M. Z. Fathoni, and D. Widyaningrum, “Usulan Preventive Maintenance Pada Mesin Hanger Shot Blast Kazo Dengan Menggunakan Metode Age Replacement Di Pt Barata Indonesia,” Matrik, vol. 22, no. 1, p. 73, 2021, doi: 10.30587/matrik.v22i1.2715.
13. [13] A. B. Zamani, M. Nuruddin, and S. S. Dahda, “Penentuan Interval Penggantian Komponen Mesin Pengayakan Batu Bara Menggunakan Metode Age Replacement,” J. Serambi Eng., vol. VIII, no. 1, pp. 4341–4352, 2023.
14. [14] F. Fauzi and R. B. Jakaria, “The Implementation of Age Replacement Method for VH-Drum Components for Baby Diaper Production Machines at PT. XYZ,” Indones. J. Innov. Stud., vol. 13, pp. 1–19, 2021, doi: 10.21070/ijins.v13i.526.
15. [15] R. Pardiyono and P. Suryani, “Meningkatkan Keandalan Komponen Mesin Dan Minimasi Downtime Pada Mesin Picanol Gtx Seri 22844,” Sist. J. Ilm. Nas. Bid. Ilmu Tek., vol. 8, no. 1, pp. 1–8, 2020, doi: 10.53580/sistemik.v8i1.33.
16. [16] A. Prastiawan, H. Rarindo, E. Hendry, S. Hadi, and U. S. Amrullah, “Metode RCM Untuk Sistem Perawatan Mesin Amplas Multipleks Pada Pabrik Plywood,” J. Ilm. Teknol. FST Undana, vol. 15, no. 2, pp. 36–40, 2021.
17. [17] N. dan M. I. M. Ansori, "Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System)",

Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.

18. [18] J. M. Tupan, B. J. Camerling, and M. Amin, “Penentuan Jadwal Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin MTU 12V2000G65 di PLTD Tersebar PT PLN (PERSERO) AREA TUAL (Studi Kasus : PLTD Wonreli),” Arika, vol. 13, no. 1, pp. 33–48, 2019, doi: 10.30598/arika.2019.13.1.33.