

# Preventive Maintenance Planning Using Age Replacement Method for Head Router Machines: Perencanaan Pemeliharaan Preventif Menggunakan Metode Penggantian Berdasarkan Usia untuk Mesin Router Kepala

*Eka Anestya Octavia*

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

*Rusindiyanto Rusindiyanto*

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

**General Background:** In the current industrial era, uninterrupted machine performance is crucial to minimize production losses. **Specific Background:** At PT BMN Pasuruan, the Head Router machine frequently experiences unplanned downtime, particularly in its bearing and spindle components. **Knowledge Gap:** While corrective maintenance has been applied, there is limited research on systematic preventive maintenance planning for these components using quantitative reliability models. **Aims:** This study applies the Age Replacement method to determine optimal replacement times and inspection intervals for the bearing and spindle, with the goal of reducing unplanned downtime. **Results:** Findings reveal that the optimal replacement time is 59,240 minutes for the bearing and 70,740 minutes for the spindle, with recommended inspection intervals of 340 hours (15 days) and 280 hours (12 days), respectively. Implementation of this strategy reduces downtime by 78.57% for the bearing and 77.69% for the spindle. **Novelty:** The research demonstrates the practical application of Age Replacement in a real industrial setting, offering measurable improvements in operational efficiency. **Implications:** Beyond solving PT BMN Pasuruan's specific challenges, the study provides a transferable model for other manufacturing industries dependent on precision equipment.

## Highlights:

- Optimized replacement times minimize unexpected machine failures.
- Inspection intervals significantly reduce downtime.
- Age Replacement method improves industrial efficiency.

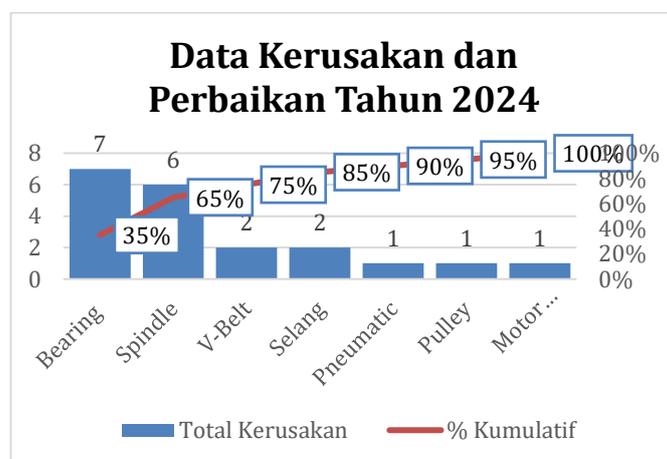
**Keywords:** Preventive Maintenance, Age Replacement, Downtime Reduction, Spindle, Bearing

## Pendahuluan

Di era 5.0 yang ditandai oleh kemajuan teknologi dan persaingan yang semakin ketat, industri menghadapi tantangan yang kompleks. Dengan adanya kenaikan pada persaingan di pasar global, setiap perusahaan dituntut untuk memperbaiki proses produksi serta memperbaiki nilai efektivitas dan efisiensi operasional mereka. Sehingga, perihal ini menjadi semakin penting mengingat kemajuan teknologi yang pesat dan permintaan pasar yang terus meningkat [1]. Salah satu aspek yang sangat krusial dalam menjaga operasional dan efisiensi produksi adalah perawatan mesin [2]. Dengan penggunaan mesin-mesin yang canggih dalam proses manufaktur, perusahaan harus memastikan bahwa semua peralatan berfungsi dengan baik dan berada dalam kondisi optimal. Kerusakan mesin yang tidak terduga dapat menyebabkan downtime yang signifikan, yang pada gilirannya dapat mengakibatkan kerugian finansial dan penurunan produktivitas. [3]. Oleh karena itu, penerapan strategi perawatan secara efektif serta efisien menjadikan hal yang sangat penting untuk mendukung keberlangsungan operasional. Dalam konteks ini, perusahaan manufaktur tentunya harus mampu menawarkan perkembangan konsep yang unik dan erbeda untuk produk andalannya kepada pelanggan. Begitu pula dengan perusahaan manufaktur, yang memiliki mesin-mesin krusial yang mendukung kegiatan produksi. Pemeliharaan alat serta mesin menjadi hal yang penting untuk diperhatikan guna memastikan kebersihan peralatan dan mesin di lingkup operasional, maka dari itu kegiatan produksi mampu dilaksanakan secara lancar. Keandalan itu sendiri bisa juga diartikan sebagai kemungkinan salah satu *unit* ataupun sistem beroperasi secara lancar dalam keadaan operasional tertentu selama jangka waktu ditentukan [2].

Dalam penelitian ini, perusahaan yang diangkat adalah perusahaan yang pembuat furnitur yang berbasis di Indonesia, telah beroperasi sejak tahun 1988 dan dikenal sebagai produsen serta pengeksport produk berbahan kayu jati dan aluminium untuk penggunaan indoor dan outdoor. Perusahaan ini terus berinovasi dengan mengembangkan produk kreatif yang memiliki desain unik, salah satunya adalah Beach Chair. Saat ini, perusahaan menghadapi tantangan besar dalam menjaga agar mesin-mesin produksinya berfungsi secara optimal dan meminimalkan kerusakan. Salah satu strategi yang diterapkan adalah perencanaan Corrective Maintenance dan maintenance breakdown. Kegagalan fungsi mesin saat beroperasi dapat mengakibatkan terhentinya produksi, yang merugikan perusahaan karena target produksi tidak tercapai [4]. Pada mesin Head Router, komponen yang menjadi penyebab utama downtime adalah Spindle dan Bearing. Spindle berfungsi sebagai penggerak utama mata pisau untuk membuat ukiran, sedangkan Bearing berfungsi sebagai tumpuan poros agar poros dapat berputar dengan maksimal dan aman. Oleh karena itu, kerusakan mendadak pada mesin ini dapat mengurangi waktu produksi dan menghambat proses produksi. Oleh sebabnya, diperlukan *planing* pemeliharaan sistem yang harus ditingkatkan untuk meminimalkan kegagalan pada proses produksi [5].

Tingkat kerusakan mesin juga dapat dilihat pada Gambar 1, yang menunjukkan bahwa dsejak Januari 2024 hingga Desember 2024, persentase kerusakan tertinggi terjadi pada bagian komponen *bearing* dan *spindle* dibandingkan dengan komponen lainnya di mesin *head router*. Hal ini tentunya berdampak signifikan pada proses yang berlangsung di bagian berikutnya dan akan memengaruhi kelancaran produksi.



**Gambar 1.** Data Kerusakan serta Perbaikan

Kerusakan mendadak yang kerap kali terjadi pada suatu alat maupun mesin merupakan masalah serius bagi perusahaan, karena sulit untuk memprediksi kapan kerusakan tersebut akan terjadi. Namun, untuk mengantisipasi kerusakan, perusahaan dapat menerapkan tindakan perawatan yang optimal guna mencegah terjadinya kerusakan. Oleh karena itu, strategi yang tepat perlu diterapkan untuk menentukan penjadwalan perawatan atau pemeriksaan, sehingga kerusakan yang tidak terduga dapat dikurangi dan downtime dapat dikurangi [6]. Manajemen yang baik sangat penting dalam meminimalkan risiko kerusakan. Perawatan mesin atau *maintenance* merupakan kegiatan kerja yang bertujuan guna merawat segala peralatan yang ada di perusahaan agar dapat dipastikan dalam kondisi siap pakai, guna mendukung kegiatan operasional secara efektif dan efisien yang disesuaikan dengan penjadwalan yang sudah diterapkan oleh perusahaan. Melalui pemeliharaan yang baik, perusahaan dapat mencapai operasi manufaktur yang andal, memaksimalkan keuntungan, serta meminimalkan biaya dan limbah. [7]. Salah satu penerapan yang dapat diaplikasikan dalam melakukan analisis adalah metode *Age Replacement*, yang berfungsi untuk mengetahui nilai interval penempatan preventif pada komponen kritis. Metode ini mempertimbangkan berbagai aspek kegagalan yang mungkin terjadi pada komponen tersebut. Dengan menerapkan perawatan yang tepat, kerusakan dapat diminimalkan atau bahkan dicegah, sehingga proses produksi dapat berjalan sesuai harapan.

Menurut [8], model age replacement secara sederhana menentukan waktu tetap untuk penggantian komponen dalam suatu sistem. Dalam model ini, penggantian komponen dilakukan ketika komponen telah mencapai usia atau masa pakai tertentu, atau ketika komponen mengalami kerusakan, tergantung pada mana yang terjadi lebih dahulu [9]. Umumnya, analisis penentuan kebijakan dilakukan dengan tujuan untuk meminimalkan biaya. Namun, dalam beberapa kondisi, aspek ketersediaan dan ketersediaan menjadi lebih penting daripada biaya, sehingga perlu dipertimbangkan dalam proses pengambilan keputusan [10].

*Mean Time To Failure* (MTTF) adalah metrik penting bagi analisis kejelasan sistem atau peralatan. MTTF mengacu pada ekspektasi masa pakai rata-rata dari suatu sistem atau alat sebelum mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki. MTTF juga berfungsi sebagai indikator untuk mengukur kejelasan suatu sistem atau peralatan; semakin tinggi nilai MTTF, semakin tinggi sistem tersebut. MTTF biasanya dihitung berdasarkan data historis mengenai waktu kerusakan dari beberapa unit yang serupa [11]. Sedangkan menurut [12], (MTTR) adalah teknik yang digunakan untuk mengukur durasi rata-rata yang diperlukan oleh teknisi untuk memulai dan menyelesaikan proses perbaikan suatu peralatan atau mesin yang mengalami kerusakan (MTTR) adalah teknik yang digunakan untuk mengukur durasi rata-rata yang diperlukan oleh teknisi untuk memulai dan menyelesaikan proses perbaikan suatu peralatan atau mesin yang mengalami kerusakan.

Distribusi kerusakan adalah bentuk matematis yang menggambarkan umur serta susunan kerusakan dari suatu mesin maupun suatu alat. Segala alat atau mesin mempunyai sifat kerusakan yang bervariasi, yang mempengaruhi pendekatan sehingga dapat diaplikasikan untuk kegiatan uji kesesuaian serta memperhitungkan parameter dari distribusi kerusakan. Informasi yang diperoleh dari distribusi kerusakan memberikan gambaran tentang masa pakai dari sebuah sistem atau komponen peralatan [13]. *Planing* pergantian komponen mesin yang diperoleh berdasarkan perhitungan pun harus dipertimbangkan dengan persediaan komponen yang ada. Selain itu, jadwal pergantian dari komponen mesin yang telah diperoleh mesti mempertimbangkan kondisi stock komponen di perusahaan. Dengan demikian, ketika terjadi kerusakan pada suatu alat ataupun mesin, maka pergantian komponen dengan sigap dilakukan dengan cepat, sehingga mesin akan kembali beroperasi secara baik dalam proses produksi. Ketersediaan komponen dari mesin yang terpenuhi itu sangat penting, karena jika komponen tidak tersedia, waktu penggantian akan menjadi lama, dan mesin tidak dapat berproduksi [14].

Berdasarkan permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan, penulis berupaya untuk meneliti rencana pemeliharaan preventif dengan mengaplikasikan metode *Age Replacement*. Tujuannya adalah guna memperoleh interval waktu pergantian komponen pada alat maupun mesin *Head Router* guna mengurangi downtime yang merugikan perusahaan. Dengan menerapkan metode pemeliharaan *preventif* ini, waktu perbaikan mesin dapat diatur ketika mesin tidak berproduksi, sehingga jam operasional dan jumlah produksi tidak berkurang, serta waktu perbaikan dapat diminimalkan. Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian juga memiliki tujuan untuk memperoleh penentuan waktu pergantian dan pemeriksaan komponen *spindel* dan *bearing* pada mesin, serta menganalisis tingkat selisih *downtime* yang terjadi setelah dilakukannya pergantian komponen kritis pada mesin.

## Metode

Penelitian yang dilakukan ini dilaksanakan di salah satu perusahaan manufaktur yang berlokasi di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur, memiliki tujuan utama yaitu mengaplikasikan metode *Age Replacement*, denganrupakan

pendekatan pemeliharaan berbasis akurasi. Dalam studi ini, metode *Age Replacement* diterapkan di sebuah mesin produksi yang kerap kali dipakai, yaitu mesin *Head Router*, yang beroperasi di bagian *woodworking*. Mesin ini dipilih sebab masih belum memiliki jadwal perawatan yang terstruktur, oleh karena tidak adanya perawatan yang terjadwal maka dapat berpotensi terjadi kegagalan yang bisa menghambat jalannya kegiatan produksi.

Secara umum, penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yang mencakup pengumpulan data terkait permesinan, data komponen *Head Router*, data interval kerusakan, dengan menggunakan penerapan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR). Di sisi lain, penelitian ini pun mencakup penentuan komponen kritis, penghitungan indeks kesesuaian dan *goodness of fit*, serta uji distribusi kerusakan. Selanjutnya adalah menghitung nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR), menentukan interval waktu pemeliharaan, serta total biaya pemeliharaan mesin. Dengan langkah-langkah ini, penerapan metode *Age Replacement* yang diharapkan dapat menghasilkan strategi usulan perawatan yang efektif, efisien, serta tidak sulit untuk diaplikasikan di mesin *Head Router*.

Dalam penelitian yang dilakukan, penulis menggunakan data berdasarkan yang diperoleh dari kerusakan mesin selama satu tahun pada tahun 2024. Perolehan data selanjutnya dikumpulkan guna menyongsong informasi analisis pada mesin *Head Router* mencakup mengenai komponen, kegagalan komponen, frekuensi tingkat kerusakan, jarak waktu antar kerusakan, serta waktu henti data. Rincian dari olah data dalam penelitian ini dilakukan dengan menerapkan metode *Age Replacement*, yang mencakup langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data : Kegiatan mengumpulkan data historis mengenai kerusakan mesin, termasuk informasi tentang komponen yang kerap kali mengalami kegagalan, frekuensi kerusakan, dan waktu *downtime* yang terjadi.
2. Penentuan Komponen Kritis: Langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi komponen kritis dengan menganalisis data kerusakan yang terjadi pada mesin *Head Router*. Proses ini bertujuan untuk menentukan komponen mana yang memiliki jumlah waktu kegagalan terbanyak. Komponen yang dianggap kritis dipilih dengan dasar analisis data kegagalan, dan berfokus pada frekuensi kegagalan yang seringkali terjadi. Hasil analisis ini dapat divisualisasikan menggunakan diagram untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai komponen yang perlu mendapat perhatian lebih.
3. Perhitungan Interval Waktu Kerusakan dan Perbaikan: Apabila data yang diperlukan terkumpul, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis untuk menghitung interval waktu kerusakan serta perbaikan pada komponen. Ini mencakup perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) untuk komponen yang seringkali menghadapi kerusakan untuk mesin *Head Router*. Perolehan hasil berdasarkan perhitungan ini selanjutnya menggambarkan hasil yang mendalam tentang kinerja serta kehalusan komponen tersebut, serta membantu dalam pengambilan keputusan terkait pemeliharaan [15].
4. Mengidentifikasi Distribusi Kerusakan: Untuk menentukan struktur distribusi kerusakan, dihitung perhitungan *Index of Fit* dengan menggunakan data waktu antar kerusakan (TTF) dan waktu perbaikan (TTR). Proses ini melibatkan penggunaan 4 pemodelan distribusi, yakni distribusi Weibull, distribusi eksponensial, distribusi normal, dan distribusi lognormal. Apabila sudah melakukan pengolahan data, maka nilai  $r$  tertinggi dari 4 distribusi tersebut akan dipilih karena dianggap model yang tepat untuk menggambarkan pola kerusakan yang terjadi.
5. Uji Kesesuaian Distribusi: Ketika nilai  $r$  atau *Index of Fit* tertinggi sudah didapatkan, langkah berikutnya adalah menjalankan uji keseragaman dari distribusi terpilih (*Goodness of Fit*). Hasil uji digunakan guna menentukan data yang dihasilkan apakah sudah sesuai dengan distribusi dari nilai  $r$  ter besar. Apabila nilai yang dihasilkan dari pengujian menunjukkan adanya data yang tidak sesuai dengan distribusi yang dipilih, maka akan diuji kembali dengan memilih nilai  $r$  tertinggi ke 2, dan berlanjut berikutnya, sampai ditemukan distribusi yang paling sesuai. Data yang diolah dalam tahap ini adalah nilai TTF dan TTR dari komponen yang kritis pada mesin *Head Router*.
6. Perhitungan MTTF dan MTTR: MTTF berfungsi sebagai indikator yang disesuaikan untuk mengukur kebugaran suatu sistem atau peralatan [11]. Di sisi lain, MTTR adalah teknik yang digunakan untuk mengukur durasi rata-rata yang diperlukan untuk memulai dan menyelesaikan proses perbaikan [16]. MTTF mencerminkan nilai rata-rata waktu terjadinya kegagalan, sedangkan MTTR menunjukkan rerata waktu yang diperlukan guna menjalankan perbaikan. Dalam perhitungan ini, data yang diolah mencakup nilai TTF, TTR, serta jenis dari distribusi yang telah dipilih untuk komponen kritis mesin *Head Router*. Perhitungan MTTF dan MTTR disesuaikan dengan hasil distribusi terpilih yang sudah dilakukan di tahap TTF dan TTR.

7. Penentuan Interval Penggantian Perbaikan serta Pencegahan Komponen: Hasil dari olah data MTTF serta MTTR, langkah berikutnya adalah menyusun jadwal pemeliharaan dengan mengaplikasikan metode *Age Replacement*. Tujuan dari metode yang digunakan yaitu untuk meminimalkan *downtime* yang mungkin dialami mesin selama proses produksi. Data yang digunakan dalam tahap ini mencakup nilai MTTF, MTTR, frekuensi kerusakan, serta waktu operasi dari komponen kritis mesin *Head Router*. Dengan penjadwalan yang tepat, pemeliharaan yang diharapkan dapat dilakukan secara efisien dan efektif, sehingga meningkatkan kelancaran mesin dan mendukung kelancaran operasional perusahaan.

## Hasil dan Pembahasan

### A. Komponen Kritis

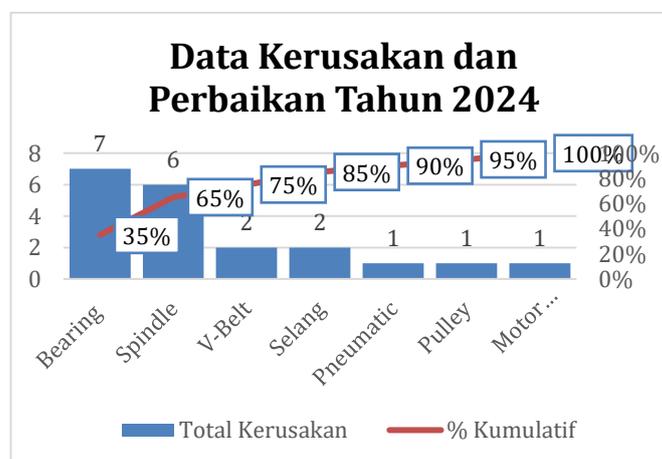
Identifikasi komponen kritis di mesin *Head Router* dijalankan dengan memanfaatkan diagram pareto, yang berlandaskan pada prinsip 80:20. Teori yang disampaikan mengatakan bahwa nilai 80% dari efek yang terjadi disebabkan oleh hanya 20% dari penyebab yang ada [17]. Dengan menggunakan diagram Pareto, perusahaan dapat dengan jelas memberi identifikasi terkait komponen mana yang paling sering mengalami kerusakan dan memberikan kontribusi signifikan terhadap *downtime* mesin. Diagram ini memungkinkan analisis visual yang efektif, di mana komponen yang paling bermasalah dapat diurutkan berdasarkan frekuensi kerusakan atau dampaknya terhadap operasi. Dengan demikian, fokus dapat diarahkan pada perbaikan dan pemeliharaan komponen-komponen tersebut, sehingga upaya pemeliharaan menjadi lebih terarah dan efisien. Pendekatan ini tidak hanya membantu dalam mengurangi waktu henti mesin, tetapi juga meningkatkan kehalusan dan kinerja keseluruhan mesin *Head Router*.

Komponen kritis diperoleh atas dasar kekerapan kegagalan kerusakan komponen di mesin *head router* yang terdapat pada perusahaan yang ditampilkan Tabel 1.

Komponen	Frekuensi	%	% Kumulatif
Bearing	7	35%	35%
Spindle	6	30%	65%
V-Belt	2	10%	75%
Selang	2	10%	85%
Pneumatic	1	5%	90%
Pulley	1	5%	95%
Motor Dinamo	1	5%	100%
<b>Total</b>	<b>20</b>		

**Tabel 1.** Frekuensi Kerusakan Komponen Kritis Mesin *Head Router*

Jika dilihat dari Tabel 1, maka dihasilkan diagram pareto guna menetapkan komponen kritis di mesin *head router* seperti pada Gambar 2 :



**Gambar 2.** Diagram Pareto Komponen Kritis Mesin Head Router

Berdasarkan analisis yang ditunjukkan dalam diagram Pareto yang tertera pada Gambar 2, dapat diidentifikasi bahwa ada 2 komponen yang paling kritis di *Head Router*, diantaranya adalah komponen bearing dan spindle. Dengan demikian, data perhitungan selanjutnya akan terfokus pada data downtime yang terkait dengan kedua komponen tersebut.

**B. Interval Waktu antar Kerusakan dan Perbaikan**

Jarak perhitungan masa kerusakan pada komponen kritis mesin *head router* mencakup dua aspek yang sangat penting, yaitu *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR). *Time to Failure* (TTF) Merujuk pada rentang waktu yang terjadi diantara dua kejadian kerusakan, dimulai dari saat kerusakan pertama kali dilakukan perbaikan sampai dengan munculnya kerusakan di waktu selanjutnya [18]. Di sisi lain, *Time to Repair* (TTR) menggambarkan lamanya waktu yang dibutuhkan guna memperbaiki mesin, sehingga mesin bisa digunakan lagi serta berfungsi secara optimal [19]. Untuk informasi lebih lanjut mengenai (TTF) dan (TTR) komponen *bearing* bisa merujuk pada Tabel 2, sedangkan untuk (TTF) dan (TTR) komponen *spindle* tertera pada Tabel 3.

Nomor	Tanggal	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Diperbaiki	TTF	TTR
				(Menit)	(Menit)
1.	10/01/2024	13.00	15.30	-	150
2.	16/02/2024	13.10	16.55	53280	225
3.	28/02/2024	11.00	12.25	43200	85
4.	09/05/2024	9.00	11.05	105120	125
5.	08/08/2024	11.00	15.35	123840	275
6.	29/10/2024	10.40	12.10	118080	90
7.	13/12/2024	08.35	13.45	72000	310

**Tabel 2.** TTF dan TTR Komponen *Bearing*

Nomor	Tanggal	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Diperbaiki	TTF	TTR
				(Menit)	(Menit)
1.	29/03/2024	10.35	13.55	-	200
2.	18/06/2024	08.15	09.45	120960	90
3.	27/06/2024	11.30	15.10	12960	220
4.	11/07/2024	15.30	16.45	12960	75
5.	30/08/2024	07.15	09.45	46080	150
6.	16/10/2024	10.20	11.30	67680	70

**Tabel 3.** TTF dan TTR Komponen *Spindle*

**C. Indeks of Fit dan Uji Goodness of fit**

Hasil yang diperoleh dari indeks kesesuaian (*index of fit*) pada komponen kritis mesin *head router* bertujuan untuk mengidentifikasi model distribusi kerusakan didasari oleh nilai indeks kesesuaian ( $r$ ) yang terendah, sebagaimana dijelaskan oleh [20]. Dalam analisis ini, perhitungan indeks kesesuaian ( $r$ ) dilakukan dengan memanfaatkan data *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR), serta mempertimbangkan beberapa tipe distribusi, termasuk distribusi weibull, distribusi eksponensial, distribusi normal, dan distribusi lognormal. Nilai yang dihasilkan

berdasarkan perhitungan indeks kecocokan yang menggunakan data TTF dilampirkan pada Tabel 4, sementara nilai yang menggunakan data TTR disajikan dalam Tabel 5.

Komponen	Distribusi	Index of Fit	Nilai (r) Terendah dan Distribusi yang Dipilih
Bearing	Weibull	2,277	Weibull
	Eksponensial	2,923	
	Normal	2,277	
	Lognormal	2,284	
Spindle	Weibull	2,450	Weibull
	Eksponensial	2,539	
	Normal	2,533	
	Lognormal	2,479	

**Tabel 4.** Hasil Index of Fit TTF Komponen *Bearing* dan *Spindle*

Komponen	Distribusi	Index of Fit	Nilai (r) Terendah dan Distribusi yang Dipilih
Bearing	Weibull	1,967	Weibull
	Eksponensial	2,550	
	Normal	2,022	
	Lognormal	1,979	
Spindle	Weibull	2,286	Weibull
	Eksponensial	2,731	
	Normal	2,325	
	Lognormal	2,314	

**Tabel 5.** Hasil Index of Fit TTR Komponen *Bearing* dan *Spindle*

Berdasarkan informasi yang dilampirkan pada Tabel 4 dan Tabel 5, kita dapat menganalisis kesesuaian distribusi data terkait kerusakan komponen mesin *head router* dengan memanfaatkan *software* Minitab 19. Dalam analisis ini, Distribusi 1 merujuk pada pengujian distribusi waktu *downtime* komponen, yang dikenal sebagai *Time To Repair* (TTR), sedangkan Distribusi 2 berfokus pada pengujian distribusi jarak waktu antar kerusakan komponen, yang disebut *Time To Failure* (TTF). Di bawah ini, disajikan tabel yang menunjukkan nilai uji distribusi untuk komponen *spindle* dan *bearing* yang dianalisis.

Komponen	Ket	Jenis Distribusi	Parameter	
			$\beta$ (Shape)	$\eta$ (Scale)

Bearing	Distribusi 1	Weibull	2,3493	204,305
	Distribusi 2	Weibull	3,133	96551
Spindle	Distribusi 1	Weibull	2,46399	152,201
	Distribusi 2	Weibull	1,444	57338

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Distribusi

Setelah melaksanakan pengujian *index of fit* pada data *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR) untuk setiap komponen, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian *goodness of fit test* pada komponen *spindle* dan *bearing*. Uji yang akan diolah dapat dijalankan menggunakan *software* Minitab. Sebuah pengujian dianggap sesuai atau mengikuti distribusi tertentu jika nilai *P-value* yang diperoleh adalah yang terbesar untuk distribusi tersebut, atau jika menghasilkan nilai *Anderson-Darling* yang paling kecil. Di bawah ini merupakan hasil pengujian *goodness of fit test* untuk komponen *spindle* dan *bearing* :

Komponen	Distribusi yang Dipilih	Uji Kesesuaian Distribusi	$\alpha$	P (Value)	Hasil Uji kesesuaian
Bearing	Weibull	Anderson Darling	0,05	0,250	H0 Diterima
Spindle	Weibull	Anderson Darling	0,05	0,250	H0 Diterima

**Tabel 7.** Hasil Pengujian (*Goodness of fit*) Data TTF

Komponen	Distribusi yang Dipilih	Uji Kesesuaian Distribusi	$\alpha$	P (Value)	Hasil Uji kesesuaian
Bearing	Weibull	Anderson Darling	0,05	0,250	H0 Diterima
Spindle	Weibull	Anderson Darling	0,05	0,250	H0 Diterima

**Tabel 8.** Hasil Pengujian (*Goodness of fit*) Data TTR

Berdasarkan hasil yang terlapir pada Tabel 5 dan Tabel 6, disimpulkan hasil nilai dari uji *goodness of fit* yang diperoleh untuk kedua komponen, serta untuk interval waktu kerusakan dan interval waktu perbaikan, menunjukkan bahwa semua hipotesis diterima. Hal ini berarti bahwa hasil distribusi yang dipilih telah terbukti sesuai dan merupakan yang paling tepat untuk dilanjutkan ke tahap perhitungan berikutnya. Dengan diterimanya hipotesis ini, maka dapat yakini bahwa model distribusi yang digunakan mencerminkan karakteristik data dengan baik. Hal ini memberikan landasan yang kuat untuk analisis lebih lanjut, termasuk perencanaan pemeliharaan dan pengoptimalan proses operasional.

#### D. Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR)

Hasil nilai yang diperoleh *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) untuk komponen *Bearing* dan *Spindle* diolah berdasarkan dengan distribusi yang telah dipilih dan disesuaikan dengan hasil pengujian *goodness of fit* guna masing-masing komponen. Berdasarkan hasil uji distribusi yang telah ditentukan, perhitungan MTTF dan MTTR dilanjutkan memakai rumus distribusi *Weibull*.

Di bawah ini adalah rumus perhitungan MTTF dan MTTR :

$$\frac{MTTF}{MTTR} = \eta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

Di bawah ini merupakan hasil dari perhitungan MTTF dan MTTR Komponen kritis pada mesin *head router*.

Komponen	MTTF (Menit)	MTTR (Menit)
Bearing	127.366,79	291,27
Spindle	98.730,894	213,97

**Tabel 9.** Hasil Perhitungan MTTF dan MTTR Komponen Kritis

Dalam mengidentifikasi nilai penggantian diolah data perhitungan dengan mengacu pada rumus guna menemukan waktu henti terkecil ( $D(tp)$ ). Perhitungan jadwal pergantian pencegahan bagi komponen *bearing* dan *spindle* dikerjakan dengan memperhatikan nilai  $D(tp)$  ataupun durasi waktu unit apabila pergantian dikerjakan saat interval  $tp$ .

<i>Bearing</i>				
$Tp$	$R(tp)$	$F(tp)$	$M(tp)$	$D(tp)$
<b>59240</b>	0.199638947	0.8003611	159547.5228	0.0020863601826062

<i>Spindle</i>				
$Tp$	$R(tp)$	$F(tp)$	$M(tp)$	$D(tp)$
<b>70470</b>	0.740163468	0.2598365	379973.1056	0.0014160428580895

**Tabel 10.** Hasil Perhitungan *Age Replacement* Komponen Kritis Mesin *Head Router*

Berdasarkan informasi yang terdapat dalam Tabel 10, bisa diketahui nilai  $tp$  adalah waktu pergantian komponen yang sangat optimal berdasarkan hasil perhitungan dari model *Age Replacement*. Dalam konteks ini,  $R(tp)$  menggambarkan nilai kecakapan mesin pada jangkauan waktu  $tp$ , yang menunjukkan seberapa baik mesin dapat beroperasi tanpa mengalami kerusakan dalam periode tersebut. Sementara itu,  $F(tp)$  merepresentasikan probabilitas terjadinya kerusakan dalam rentang waktu  $tp$ , memberikan gambaran tentang risiko yang dihadapi jika pergantian tidak dilakukan tepat waktu. Selanjutnya,  $M(tp)$  merupakan waktu rerata terjadinya kerusakan jika pergantian dapat dijalankan disaat  $tp$ . perencanaan pemeliharaan. Sedangkan,  $D(tp)$  menunjukkan nilai kemungkinan waktu henti terendah pada periode  $tp$ , yang berarti bahwa pergantian pada waktu ini akan meminimalkan waktu henti mesin.

Dari analisis tersebut, untuk komponen bearing, nilai  $D(tp)$  terendah terjadi saat  $tp = 59240$  menit, atau sekitar 42 hari. Ini menunjukkan bahwa umur optimal dari komponen *bearing* untuk beroperasi secara efisien adalah sebesar 59240 menit. Sementara itu, untuk komponen spindle, nilai  $D(tp)$  terendah tercatat pada saat  $tp = 70470$  menit, atau sekitar 44 hari. Dengan demikian, umur optimal dari komponen *spindle* untuk berfungsi secara maksimal adalah sebesar 70470 menit.

Berdasarkan Tabel 10 dapat diketahui jika  $tp$  adalah waktu pergantian komponen yang sangat optimal. Sehingga setelah ditentukan  $tp$  yang paling optimal, selanjutnya adalah tahap perhitungan *downtime* setelah dilakukan pergantian komponen. Perhitungan *downtime* setelah pergantian komponen diperoleh berdasarkan perhitungan dengan menggunakan rumus :

$$Downtime = D(tp) \times \text{total bulan} \times \text{total hari kerja} \times \text{total menit}$$

Tabel 11 adalah hasil perbandingan *downtime* sebelum dilakukannya pergantian komponen dengan *downtime* setelah dilakukannya pergantian komponen menggunakan metode *Age Replacement*.

Komponen	Total <i>Downtime</i> Sebelum	Total <i>Downtime</i> Sesudah
	Pergantian Komponen (Menit)	Pergantian Komponen (Menit)
<i>Bearing</i>	1260	265
<i>Spindle</i>	805	180

**Tabel 11.** Hasil Perbandingan *Downtime*

Dari nilai yang dihasilkan pada teknik pengolahan data, penelitian ini menunjukkan kalau waktu pergantian komponen *bearing* yang paling maksimal, menurut pengolahan menggunakan metode *Age Replacement*, adalah senilai 59.240 menit. Sementara itu, waktu pergantian untuk komponen *spindle* yang paling optimal adalah 70.740 menit. Penentuan waktu pergantian ini sangat krusial untuk memastikan bahwa kedua komponen tersebut bekerja secara maksimal sehingga akan mengurangi tingkat kerusakan yang dapat mengganggu proses produksi. Dengan mengetahui waktu pergantian yang tepat, perusahaan dapat merencanakan pemeliharaan dengan lebih efisien, sehingga mengurangi risiko *downtime* yang tidak terencana. Hal ini juga berkontribusi pada pengoptimalan

penggunaan sumber daya dan peningkatan produktivitas secara keseluruhan. Selain itu, penjadwalan penggantian yang tepat dapat mengurangi biaya operasional yang terkait dengan perbaikan mendadak, memungkinkan perusahaan untuk mengalokasikan anggaran pemeliharaan dengan lebih baik. Keseluruhan proses ini berkontribusi pada peningkatan kinerja mesin dan keberlanjutan operasional perusahaan.

Selain itu, penelitian ini juga menetapkan jarak waktu pemeriksaan untuk kedua komponen. Jarak waktu pemeliharaan untuk komponen *bearing* ditetapkan sebesar 340 jam, yang setara dengan sekitar 15 hari, sedangkan untuk komponen *spindle* adalah 280 jam atau sekitar 12 hari. Penetapan interval pemeriksaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa kedua komponen selalu dalam kondisi optimal dan siap digunakan. Dengan melakukan pemeriksaan secara rutin, perusahaan dapat mengira-ngira masalah mesin yang berpotensi berdampak menjadi kerusakan yang lebih parah. Ini tidak hanya mengurangi biaya perbaikan, tetapi juga meningkatkan keandalan mesin dalam jangka panjang. Dengan keandalan yang lebih tinggi, perusahaan dapat mengandalkan mesin untuk beroperasi tanpa gangguan, yang pada gilirannya meningkatkan output produksi. Selain itu, pemeriksaan rutin juga memberikan kesempatan untuk melakukan perawatan *preventif* yang lebih terencana. Dengan cara ini, perusahaan dapat menjaga kualitas produk dan memenuhi permintaan pasar dengan lebih baik.

Analisis total *downtime* saat sebelum serta sesudah penerapan pergantian *preventif* menunjukkan nilai yang signifikan. Hasil dari perhitungan komponen *bearing*, total *downtime* setelah pergantian *preventif* tercatat senilai 265 menit, sedangkan sebelum pergantian *preventif* mencapai 1.260 menit. Demikian pula, untuk komponen *spindle*, total *downtime* setelah pergantian *preventif* adalah 180 menit, dibandingkan dengan 805 menit sebelum pergantian. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan metode *Age Replacement* secara efektif mengurangi *downtime* untuk kedua komponen. Penurunan *downtime* ini tidak hanya berdampak positif pada efisiensi operasional, tetapi juga pada kepuasan pelanggan yang bergantung pada ketepatan waktu pengiriman produk. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan sebagai mana pengaruh pemeliharaan mesin yang dilakukan dengan metode *Age Replacement* tidak hanya lebih optimal, tetapi juga bisa digunakan sebagai strategi pemeliharaan yang efektif. Implementasi metode ini dapat menjadi model bagi perusahaan lain yang ingin meningkatkan efisiensi mesin mereka. Dengan pendekatan yang tepat, perusahaan dapat mencapai tujuan jangka panjang dalam hal produktivitas dan profitabilitas..

## Simpulan

Selanjutnya, analisis jumlah waktu henti saat sebelum juga sesudah pergantian komponen menunjukkan nilai yang signifikan. Bagi komponen *bearing*, jumlah waktu henti setelah pergantian tercatat senilai 265 menit, sedangkan sebelum pergantian mencapai 1.260 menit. Hal ini menunjukkan penurunan *downtime* sebesar 78,57%, yang sangat menguntungkan bagi perusahaan. Sementara itu, untuk komponen *spindle*, total *downtime* setelah pergantian adalah 180 menit, dibandingkan dengan 805 menit sebelum pergantian. Ini menunjukkan penurunan *downtime* sebesar 77,69%, yang juga merupakan hasil yang sangat positif. Penurunan *downtime* ini tidak hanya mengurangi waktu henti mesin, tetapi juga meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. Dengan demikian, penerapan metode *Age Replacement* terbukti efektif dalam mengelola pemeliharaan mesin. Hasil penelitian ini menyampaikan pondasi yang cukup kuat untuk pihak perusahaan guna mengatur rencana strategi pemeliharaan yang lebih baik. Selain itu, temuan ini dapat menjadi referensi bagi industri lain yang menghadapi tantangan serupa. Dengan perawatan yang tepat, perusahaan dapat memaksimalkan kinerja mesin dan meminimalkan biaya operasional.

## Referensi

- [1] A. B. Zamani, M. Nuruddin, and S. S. Dahda, "Penentuan Interval Penggantian Komponen Mesin Pengayakan Batu Bara Menggunakan Metode Age Replacement," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 4341–4352, 2023. [Online]. Available: <http://eprints.umg.ac.id/7757/2/JURNAL%20ARTIKEL%20ABZ.pdf>
- [2] E. A. Agustawan, 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: Jurnal Manajemen dan Teknik Industri*, vol. 22, no. 1, pp. 73–81, 2021, doi: 10.30587/matrik.v22i1.2715. [Online]. Available: <https://journal.umg.ac.id/index.php/matriks/index>
- [3] D. C. Maritha, A. Arvianto, and S. Saptadi, "Usulan Sistem Pemeliharaan Mesin Oven di PT Sandang Asia Maju Abadi dengan Metode Reliability Centered Maintenance dan Age Replacement," *Industrial Engineering Online Journal*, vol. 14, no. 1, 2024. [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ieoj/article/view/49006>
- [4] E. Wirdianto, I. N. P. Mukhti, A. H. B. Adi, and M. Milana, "Model Penjadwalan Pemeliharaan Preventif Mesin-Mesin Produksi untuk Meminimasi Total Tardiness," *Invotek: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, vol. 20,

- no. 1, pp. 123–136, 2020, doi: 10.24036/invotek.v20i1.629. [Online]. Available: <http://invotek.ppp.unp.ac.id/index.php/invotek/article/view/629>
- [5] S. Azizi and A. Indra, “Analisa Perencanaan Perawatan untuk Mengurangi Biaya Downtime Mesin Produksi Air Bersih dengan Metode Age Replacement di Perumda Air Minum Tirta Terubuk Bengkalis,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 1–4, Feb. 2022. [Online]. Available: <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/jtm/article/view/9804>
- [6] Taufik and S. Septyani, “Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Turbin di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin,” *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, vol. 14, no. 2, pp. 238–258, 2016, doi: 10.25077/josi.v14.n2.p238-258.2015. [Online]. Available: <https://josi.ft.unand.ac.id/index.php/josi/article/view/257>
- [7] D. Satrijo, A. Isnaini, A. Purwanto, and S. Hadi, “Penggunaan Metode Reliability-Centered Maintenance untuk Menjaga Keandalan Material Belt Conveyor,” *Jurnal Material Teknologi dan Proses*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2021, doi: 10.22146/jmtp.66163. [Online]. Available: <https://jurnal.ugm.ac.id/jmtp/article/view/66163>
- [8] Y. Eddouh, A. Daya, R. Elotmani, and A. Touache, “Optimization Approaches for Cost Reduction in Preventive Maintenance Strategies,” *International Journal of Performability Engineering*, vol. 19, no. 6, pp. 359–367, 2023, doi: 10.23940/ijpe.23.06.p1.359367. [Online]. Available: <https://www.ijpe-online.com/EN/10.23940/ijpe.23.06.p1.359367>
- [9] N. M. Jaya, G. A. P. C. Dharmayanti, and D. A. R. U. Mesi, “Manajemen Risiko K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Bali Mandara,” *Jurnal Spektran*, vol. 9, no. 1, pp. 29–37, 2021, doi: 10.24843/spektran.2021.v09.i01.p04. [Online]. Available: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jsn/article/download/70686/40493>
- [10] I. Alsyouf, S. Hamdan, and M. Shamsuzzaman, “On Preventive Maintenance Policies: A Selection Framework,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 27, no. 1, pp. 225–249, 2020, doi: 10.1108/JQME-10-2018-0085. [Online]. Available: <https://www.emerald.com/jqme/article-abstract/27/1/225/449594>
- [11] I. Deradjad, *Sistem dan Manajemen Pemeliharaan (Maintenance: System and Management)*. Jakarta, Indonesia: Prenada Media, 2019. ISBN: 978-623-209-993-7.
- [12] N. A. Fikri and E. P. Widjajati, “Penentuan Interval Perawatan Mesin Air Separation Plant Secara Preventive Downtime Maintenance dengan Menggunakan Metode Age Replacement pada PT XYZ,” *Juminten*, vol. 1, no. 3, pp. 153–164, 2020, doi: 10.33005/juminten.v1i3.114. [Online]. Available: <https://juminten.upnjatim.ac.id/index.php/juminten/article/view/114>
- [13] R. Nurcahyo, *Manajemen Pemeliharaan Preventive (Preventive Maintenance): Teori dan Aplikasi*. Jakarta, Indonesia: Universitas Indonesia, 2024. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/382268871>
- [14] F. Ma and S. S. Dahda, “Penentuan Interval Pergantian Komponen Mesin Bubut Menggunakan Metode Age Replacement,” *Jurnal Teknovasi*, vol. 8, pp. 70–82, 2021. [Online]. Available: <https://ejournal.atmajaya.ac.id/index.php/metris/article/view/3547>
- [15] M. E. S. Lelu and W. Setiafindari, “Implementasi Metode Reliability Centered Maintenance pada Komponen Kritis Turbin Uap di PT Madubaru,” *Jurnal Disprotek*, vol. 14, no. 2, pp. 139–148, 2023, doi: 10.34001/jdpt.v14i2.4736.
- [16] A. D. Dio, H. M. Zain, and T. Tamalika, “Penerapan Metode Age Replacement pada Usulan Jadwal Preventive Maintenance Mesin Dump Truck di PT BSE Bayung Lencir,” *Nusantara Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 57–65, 2023, doi: 10.29407/noe.v6i1.19871. [Online]. Available: <https://ojs.unpkediri.ac.id/index.php/noe/article/view/19871>
- [17] T. Y. M. Zagloel and R. Nurcahyo, *TQM: Manajemen Kualitas Total dalam Perspektif Teknik Industri*, 2nd ed. Jakarta, Indonesia: UI Press, 2022. ISBN: 978-623-333-385-6. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/370375953>
- [18] E. Prasetyaningsih, I. Ruchiyat, and C. R. Muhammad, “Penentuan Interval Waktu Perawatan Mesin Blowing dan Mesin Filling Menggunakan Teori Reliability dan Model Age Replacement (Studi Kasus pada PT XYZ),” *Jurnal Sistem Teknik Industri*, vol. 22, no. 2, pp. 1–12, 2020, doi: 10.32734/jsti.v22i2.3762. [Online]. Available: <https://talenta.usu.ac.id/jsti/article/view/3762>
- [19] 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,” *Jurnal Metris*, vol. 23, no. 1, pp. 52–61, 2022, doi: 10.25170/metris.v23i01.3547. [Online]. Available: <https://ejournal.atmajaya.ac.id/index.php/metris/article/view/3547>



- [20] G. Karo-Karo and P. Jodiawan, “Analisis Distribusi Waktu Kerusakan Mesin pada Lini Produksi Cylinder Comp K-XX (Studi Kasus: PT XYZ),” *Journal of Industrial Engineering and Management Systems (JIEMS)*, vol. 9, no. 1, pp. 54–64, 2016. [Online]. Available: <https://journal.ubm.ac.id/index.php/jiems/article/view/129>