

Penerapan *Preventive Maintenance* untuk Mereduksi *Downtime* pada Mesin *Vacuum Pressure Impregnation* (VPI)

Despa Deswita *, Nita P.A Hidayat, Chaznin R. Muhammad

Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

despadeswita7@gmail.com, nita.ph@gmail.com, chaznin_crm@yahoo.co.id

Abstract. PT Pindad (Persero) is a manufacturing company operating in the defense and security sector. One of the critical processes in the production of permanent magnet motors is the coil impregnation process using a Vacuum Pressure Impregnation (VPI) machine. Failures in the VPI machine can disrupt production flow, resulting in high downtime and increased maintenance costs. Currently, the maintenance system applied to the VPI machine is corrective maintenance, where repairs are performed only after failures occur. This study aims to design a preventive maintenance strategy to improve machine reliability, reduce downtime, and minimize maintenance costs. Critical components were identified using a Pareto diagram, resulting in three main components: seal chamber, heater band, and seal mold. Failure data were analyzed using the Weibull distribution to determine Mean Time to Failure (MTTF) and Mean Time to Repair (MTTR). The optimal maintenance intervals obtained were 148 hours for the seal chamber, 356 hours for the heater band, and 38 hours for the seal mold. The results show that the implementation of preventive maintenance based on these intervals can improve machine reliability and reduce downtime compared to the current condition. Cost analysis indicates that the second maintenance scenario is the most effective, reducing total maintenance costs from Rp1,552,619,144 to Rp374,778,337, representing a cost reduction of 78.19%.

Keywords: *Preventive maintenance, Reliability, Downtime.*

Abstrak. PT Pindad (Persero) merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang pertahanan dan keamanan. Salah satu proses penting dalam produksi motor *permanent magnet* adalah proses impregnasi coil menggunakan mesin *Vacuum Pressure Impregnation* (VPI). Mesin VPI merupakan mesin kritis karena kerusakan yang terjadi dapat mengganggu aliran produksi, menyebabkan downtime yang tinggi, serta meningkatkan biaya pemeliharaan. Sistem pemeliharaan yang diterapkan saat ini masih bersifat *corrective maintenance*, yaitu perbaikan dilakukan setelah kerusakan terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *preventive maintenance* guna meningkatkan keandalan mesin, menurunkan downtime, dan meminimalkan biaya pemeliharaan. Identifikasi komponen kritis dilakukan menggunakan diagram Pareto, yang menghasilkan tiga komponen utama, yaitu seal chamber, heater band, dan seal mold. Data kerusakan dianalisis menggunakan distribusi Weibull untuk menentukan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR). Interval pemeliharaan optimal yang diperoleh adalah 148 jam untuk seal chamber, 356 jam untuk heater band, dan 38 jam untuk seal mold. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *preventive maintenance* berdasarkan interval tersebut mampu meningkatkan keandalan mesin dan menurunkan downtime dibandingkan kondisi awal. Analisis biaya menunjukkan bahwa skenario kedua merupakan alternatif terbaik dengan penurunan total biaya pemeliharaan sebesar 78,19%.

Kata Kunci: *Preventive maintenance, Reliability, Downtime.*

A. Pendahuluan

PT PT Pindad (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak di bidang produksi alat pertahanan dan keamanan, serta berperan sebagai produsen utama peralatan militer di Indonesia. Produk PT Pindad meliputi senjata ringan dan berat, kendaraan tempur, amunisi, alat berat, kendaraan komersial, serta komponen industri seperti motor BLDC, motor traksi, dan berbagai jenis motor lainnya. Dalam memenuhi kebutuhan konsumen yang bersifat spesifik, PT Pindad menerapkan strategi *Engineer to Order* (ETO) dan *Make to Order* (MTO). Keandalan mesin produksi menjadi faktor penting dalam industri manufaktur untuk menjamin kelancaran proses produksi, pencapaian target, dan ketepatan waktu pengiriman produk.

Divisi *Maintenance Repair and Overhaul* (MRO) merupakan salah satu divisi strategis di PT Pindad yang berperan dalam mendukung operasional perusahaan. Divisi ini memiliki tiga tanggung jawab utama, yaitu melakukan pemeliharaan fasilitas produksi, menyediakan layanan *after sales service*, serta memproduksi berbagai jenis motor dan generator sesuai standar industri. Divisi MRO terbagi menjadi empat departemen, yaitu Non-HanKam, HanKam, *Service Part Operation* (SPO), serta Produksi & Elektrik.

Departemen Produksi & Elektrik bertanggung jawab atas produksi dan perbaikan motor serta generator, sekaligus memberikan layanan *after sales service*. Produk yang ditangani meliputi Motor BLDC, Motor *Permanent Magnet*, Motor Traksi, hingga Stator Generator. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan wawancara, departemen ini masih menghadapi beberapa kendala operasional sehingga menjadi fokus dalam penelitian ini.

Departemen Produksi & Elektrik sering mengalami keterlambatan dalam penyelesaian dan pengiriman produk kepada pelanggan, yang berpotensi menimbulkan penalti serta menurunkan kepercayaan pelanggan. Sepanjang tahun 2024, PT Pindad tercatat mengalami keterlambatan pada 11 pesanan berbagai jenis produk yang diproses di Departemen Produksi & Elektrik. Rekapitulasi data penyelesaian produk motor dan generator tahun 2024 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penyelesaian Produk Motor dan Generator pada Tahun 2024

No.	Tanggal Pemesanan	Jumlah Pesanan (Unit)	Due Date	Tanggal Pengiriman	Keterlambatan (Hari)
1	05/01/2024	480	25/01/2024	30/01/2024	5
2	20/01/2024	520	19/02/2024	19/02/2024	0
3	04/02/2024	510	26/02/2024	05/03/2024	8
4	19/02/2024	490	10/03/2024	10/03/2024	0
5	05/03/2024	530	25/03/2024	27/04/2024	33
6	20/03/2024	470	09/04/2024	19/04/2024	10
7	04/04/2024	550	24/04/2024	24/04/2024	0
8	19/04/2024	510	09/05/2024	09/05/2024	0
9	04/05/2024	490	23/05/2024	07/06/2024	15
10	19/05/2024	530	08/06/2024	08/06/2024	0
11	03/06/2024	500	23/06/2024	03/07/2024	10
12	18/06/2024	520	08/07/2024	08/07/2024	0
13	03/07/2024	480	23/07/2024	23/07/2024	0
14	18/07/2024	540	07/08/2024	15/08/2024	8
15	02/08/2024	510	01/09/2024	11/09/2024	10
16	17/08/2024	490	06/09/2024	19/09/2024	13
17	01/09/2024	550	01/10/2024	01/10/2024	0
18	16/09/2024	510	16/10/2024	16/10/2024	0
19	01/10/2024	470	31/10/2024	10/11/2024	10
20	16/10/2024	530	15/11/2024	15/11/2024	0
21	31/10/2024	490	30/11/2024	30/11/2024	0
22	15/11/2024	510	15/12/2024	15/12/2024	0
23	30/11/2024	540	20/12/2024	22/01/2025	33

Berdasarkan Tabel 1. selama tahun 2024, Departemen Produksi & Elektrik PT Pindad menerima sebanyak 23 pesanan produk motor dan generator. Dari jumlah tersebut, 11 pesanan (47,83%) mengalami keterlambatan pengiriman, sedangkan 12 pesanan (52,17%) berhasil dikirim tepat waktu. Total hari keterlambatan yang tercatat mencapai 155 hari, dengan rentang keterlambatan antara 5 hingga 33 hari. Kondisi ini menunjukkan bahwa terdapat permasalahan kritis dalam proses produksi yang berdampak langsung pada keterlambatan pengiriman produk akhir. Keterlambatan tersebut tidak hanya memengaruhi kepuasan pelanggan, tetapi juga berpotensi menimbulkan kerugian finansial bagi perusahaan. Sesuai dengan ketentuan kontrak, keterlambatan pengiriman dikenakan denda sebesar 1‰ (satu permil) dari nilai kontrak untuk setiap hari keterlambatan. Jika kondisi ini terus terjadi, akumulasi denda yang timbul dapat berdampak signifikan terhadap operasional dan pendapatan perusahaan.

Berdasarkan hasil wawancara dan observasi, diketahui bahwa lintasan produksi sering mengalami *stop line* karena adanya kerusakan salah satu mesin pada rangkaian produksi. Gangguan ini berdampak langsung terhadap kelancaran proses, pencapaian target produksi, dan ketepatan waktu pengiriman produk ke pelanggan. Frekuensi kerusakan mesin yang tinggi menjadi faktor dominan penyebab keterlambatan penyelesaian pesanan. Tabel 2 merupakan data mesin yang mengalami kerusakan pada Departemen Produksi & Elektrik selama tahun 2024.

Tabel 2. Data Mesin yang mengalami Kerusakans pada Tahun 2024

Peringkat	Nama Mesin	Frekuensi Kerusakan	Downtime (Jam)
1	Mesin VPI <i>Insulation</i>	33	179
2	Mesin <i>Dynamic Balancing</i>	18	68
3	Mesin <i>Test Impuls</i>	2	52
4	Mesin <i>Winding</i>	10	28
5	Mesin <i>Las Assembly</i>	5	48
6	Mesin Hidrolik	8	24
7	Mesin <i>Blanking & Notching Laser</i>	6	22
8	Mesin <i>Forming Seal Chamber</i>	5	18
9	Mesin <i>Oval Seal Chamber</i>	4	14
10	Mesin <i>run-test</i>	3	8
11	Mesin <i>Brushing Finishing</i>	2	6

Tabel 2 menunjukkan bahwa selama tahun 2024 mesin VPI mengalami kerusakan tertinggi yaitu 33 kali dengan total *downtime* selama 179 jam. Dengan demikian mesin VPI merupakan mesin kritis dalam lintasan produksi motor dan generator di Departemen Produksi & Elektrik. Mesin VPI digunakan untuk impregnasi motor dan generator dengan resin, yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan listrik, mekanik, dan termal. Mesin ini memiliki peran penting, sehingga setiap kali terjadi kerusakan secara langsung proses perakitan dan pengujian menjadi tertunda.

Saat ini, Departemen Produksi & Elektrik menerapkan *corrective maintenance*, yaitu perbaikan dilakukan setelah mesin atau peralatan mengalami kerusakan. Penerapan *corrective maintenance* menyebabkan terhentinya lini produksi, sehingga aktivitas operasional terganggu dan biaya perbaikan meningkat, karena perusahaan melakukan perbaikan setelah mesin mengalami kerusakan parah secara mendadak.

Downtime mesin yang tinggi dapat menyebabkan terhentinya aliran produksi, menurunnya produktivitas, meningkatnya biaya operasional, serta berpotensi menimbulkan penalti akibat keterlambatan pengiriman produk. Oleh karena itu, perusahaan manufaktur dituntut untuk memiliki sistem pemeliharaan mesin yang efektif dan terencana guna menjaga performa mesin tetap optimal.

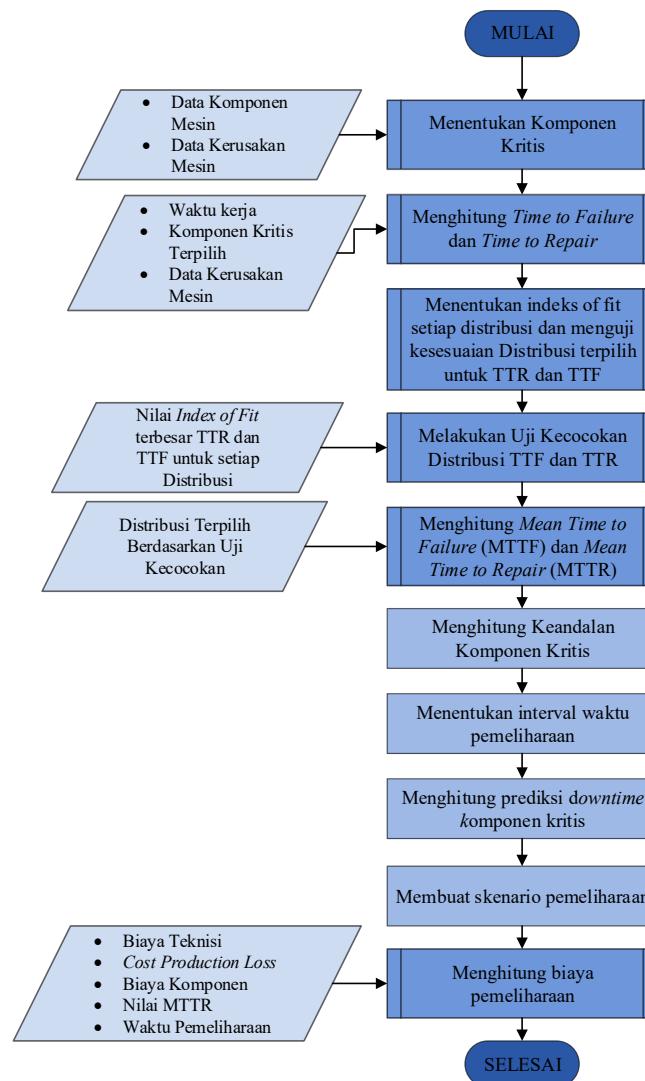
Sistem pemeliharaan yang masih berfokus pada *corrective maintenance*, yaitu perbaikan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan, cenderung menimbulkan *downtime* yang tinggi serta biaya perbaikan yang lebih besar dibandingkan dengan *preventive maintenance* [8][17]. *Preventive maintenance* dinilai lebih efektif karena mampu mencegah kerusakan sebelum terjadi dan meningkatkan keandalan mesin produksi.

Berdasarkan uraian pada latar belakang, penelitian ini difokuskan pada (1) sistem pemeliharaan mesin *Vacuum Pressure Impregnation* (VPI) yang saat ini diterapkan di perusahaan, (2) perancangan jadwal *preventive maintenance* yang efektif untuk meningkatkan keandalan mesin VPI, serta (3) analisis biaya pemeliharaan yang meliputi biaya *preventive* dan biaya *failure*. Adapun tujuan penelitian ini adalah (1) mengidentifikasi sistem pemeliharaan mesin VPI yang berjalan saat ini, (2) menyusun jadwal *preventive maintenance* yang mampu meningkatkan keandalan mesin VPI, dan (3) mengetahui besaran biaya *preventive* dan biaya *failure* yang diperlukan perusahaan dalam melakukan pemeliharaan mesin VPI.

B. Metode

Penelitian ini merupakan studi kasus yang dilakukan di PT Pindad (Persero), khususnya pada Departemen Produksi & Elektrik Divisi *Maintenance, Repair, and Overhaul* (MRO). Permasalahan penelitian difokuskan pada mesin *Vacuum Pressure Impregnation* (VPI) yang berperan penting dalam proses impregnasi stator motor dan generator. Mesin VPI masih sering mengalami *downtime* yang berdampak pada keterlambatan proses produksi, sehingga diperlukan evaluasi serta perancangan sistem pemeliharaan yang lebih efektif.

Tahapan penelitian disusun secara sistematis, meliputi studi pendahuluan, pengumpulan data, pengolahan dan analisis data, hingga penarikan kesimpulan, yang selanjutnya digambarkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Pengolahan Data *Preventive Maintenance*

Tahapan awal dalam penelitian ini adalah melakukan identifikasi komponen mesin *Vacuum Pressure Impregnation* (VPI) yang sering mengalami kerusakan berdasarkan data historis *downtime*. Penentuan komponen kritis pada mesin VPI dilakukan menggunakan diagram Pareto untuk mengidentifikasi komponen dengan kontribusi terbesar terhadap frekuensi kerusakan dan *downtime*. Prinsip Pareto menyatakan bahwa sebagian besar permasalahan disebabkan oleh sebagian kecil faktor penyebab utama.

Setelah komponen yang sering mengalami kerusakan teridentifikasi, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR). *Time to Failure* merupakan selang waktu antara terjadinya satu kerusakan dengan kerusakan berikutnya pada mesin VPI, sedangkan *Time to Repair* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan hingga mesin dapat kembali beroperasi secara normal. Data TTF dan TTR diperoleh dari data historis kerusakan mesin VPI selama periode penelitian.

Nilai TTF dan TTR yang telah diperoleh kemudian digunakan untuk melakukan identifikasi distribusi kerusakan. Identifikasi distribusi dilakukan dengan membandingkan empat jenis distribusi, yaitu distribusi normal, distribusi lognormal, distribusi eksponensial, dan distribusi Weibull. Distribusi kerusakan ini digunakan untuk menggambarkan karakteristik umur pakai komponen mesin VPI berdasarkan data kerusakan yang terjadi.

Untuk memastikan kesesuaian distribusi yang dipilih dengan karakteristik data kerusakan, dilakukan uji kecocokan distribusi (*goodness of fit test*). Uji kecocokan yang digunakan meliputi uji Kolmogorov-Smirnov untuk distribusi normal dan lognormal, uji Bartlett's untuk distribusi eksponensial, serta uji Mann's untuk distribusi Weibull. Distribusi yang memenuhi kriteria uji kecocokan kemudian ditetapkan sebagai distribusi terpilih untuk masing-masing komponen mesin VPI.

Berdasarkan distribusi terpilih, dilakukan perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR). MTTF menunjukkan rata-rata waktu hingga terjadinya kerusakan pada komponen mesin VPI, sedangkan MTTR menunjukkan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan agar mesin dapat kembali beroperasi. Nilai MTTF dan MTTR ini digunakan sebagai dasar dalam penentuan interval waktu *preventive maintenance*.

Penentuan interval *preventive maintenance* dilakukan berdasarkan tingkat keandalan (*reliability*) yang diharapkan. Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas mesin VPI dapat beroperasi sesuai dengan kondisi yang ditetapkan dalam periode waktu tertentu. Semakin tinggi tingkat keandalan yang ditetapkan, maka kemungkinan terjadinya kerusakan akan semakin kecil, sehingga *downtime* mesin dapat diminimalkan.

Tahap akhir dalam penelitian ini adalah melakukan perhitungan biaya pemeliharaan, yang terdiri dari biaya *preventive* (*preventive cost*) dan biaya kerusakan (*failure cost*). Perhitungan biaya pemeliharaan mempertimbangkan biaya teknisi, biaya penggantian komponen, serta biaya kehilangan produksi akibat *downtime* mesin VPI. *Preventive cost* merupakan biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk melaksanakan kegiatan *preventive maintenance*, sedangkan *failure cost* merupakan biaya yang timbul akibat terjadinya kerusakan mesin. Hasil perhitungan biaya ini digunakan untuk mengevaluasi efektivitas penerapan *preventive maintenance* pada mesin VPI di PT Pindad.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil penelitian dan pembahasan berdasarkan analisis data mesin *Vacuum Pressure Impregnation* (VPI) di PT Pindad, yang meliputi identifikasi komponen kritis, analisis keandalan mesin, serta evaluasi penerapan *preventive maintenance*.

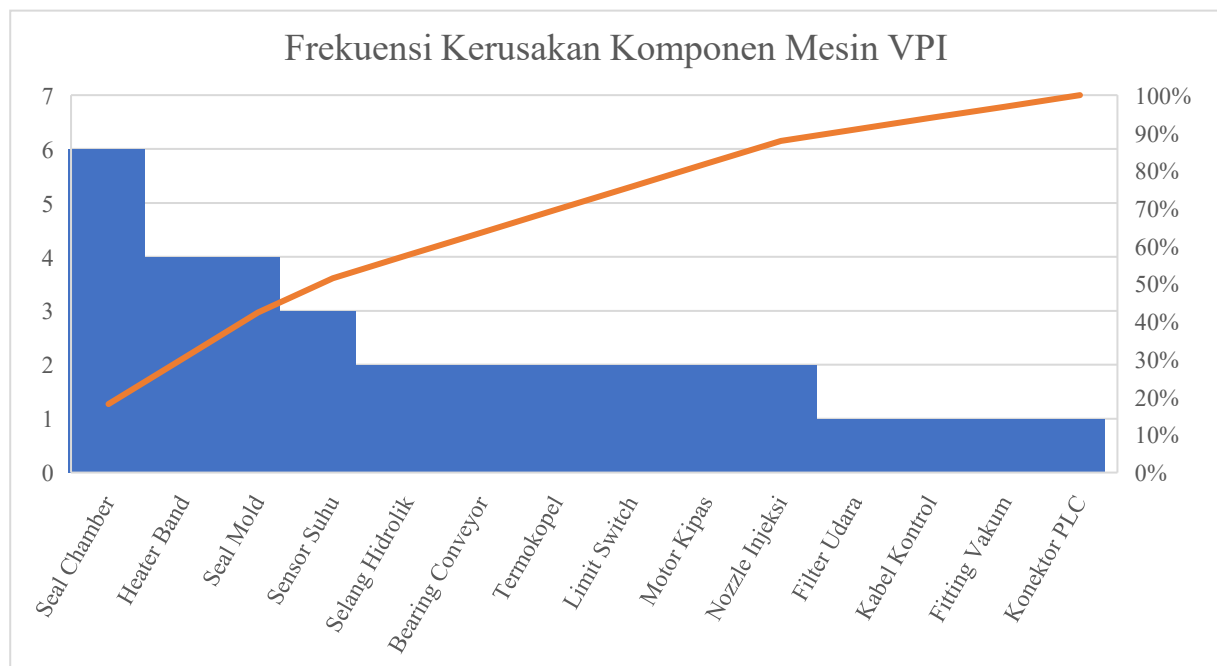
Penentuan Komponen Kritis

Berdasarkan observasi dan wawancara diketahui terdapat 14 komponen yang menyebabkan kerusakan pada mesin VPI yaitu *seal chamber*, sensor suhu, selang hidrolik, *heater band*, filter udara, *bearing conveyor*, kabel *control*, *seal mold*, termokopel, *limit switch*, *fitting* vakum, motor kipas, konektor PLC, *nozzle* injeksi sedangkan untuk frekuensi kerusakan mesin VPI dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Komponen Kritis pada Mesin VPI

No.	Komponen	Frekuensi Kerusakan	Downtime (jam)
1	<i>Seal Chamber</i>	6	49,41
2	Sensor Suhu	3	9,55
3	Selang Hidrolik	2	13,30
4	<i>Heater Band</i>	4	19,90
5	Filter Udara	1	2,50
6	<i>Bearing Conveyor</i>	2	13,40
7	Kabel Kontrol	1	1,70
8	<i>Seal Mold</i>	4	29,68
9	Termokopel	2	8,64
10	<i>Limit Switch</i>	2	5,00
11	<i>Fitting Vakum</i>	1	1,70
12	Motor Kipas	2	11,60
13	Konektor PLC	1	2,17
14	<i>Nozzle Injeksi</i>	2	10,00

Frekuensi Kerusakan yang terdapat pada Tabel 3, maka dilakukan visualisasi data menggunakan diagram pareto yang dapat dilihat pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Frekuensi Kerusakan Komponen Mesin VPI

Berdasarkan diagram pareto tersebut dapat diketahui komponen yang memiliki frekuensi kerusakan tertinggi hingga frekuensi kerusakan terendah. Frekuensi kerusakan tertinggi menjadi parameter untuk menentukan komponen yang akan dirancang interval pemeliharaannya. Maka penentuan komponen kritis dilakukan untuk 3 komponen, yaitu *Seal Chamber*, *Heater Band* dan *Seal Mold*.

Menghitung *Time to Failure* dan *Time to Repair*

TTF merupakan interval waktu yang menunjukkan jarak antara suatu kerusakan komponen setelah dilakukan perbaikan hingga terjadinya kerusakan berikutnya. Sementara itu, TTR adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan pada komponen mesin sehingga dapat kembali beroperasi secara normal. Rekapitulasi hasil perhitungan nilai TTF dan TTR pada masing-masing komponen disajikan pada Tabel 4 sampai dengan Tabel 6.

1. Seal Chamber

Tabel 4. TTF dan TTR Komponen *Seal Chamber*

Tanggal	<i>i</i>	Interval Kerusakan (Jam)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
03/01/2024	0	0	0	8,9
04/03/2024	1	343	337,20	5,8
03/06/2024	2	455	448,70	6,3
02/08/2024	3	350	343,10	6,9
30/08/2024	4	161	154,75	6,25
08/11/2024	5	413	406,40	6,6

2. Heater Band

Tabel 5. TTF dan TTR Komponen *Heater Band*

Tanggal	<i>i</i>	Interval Kerusakan (Jam)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
08/02/2024	0	0	0	3,7
07/05/2024	1	434	430,00	4
06/09/2024	2	693	689,80	3,2
15/12/2024	3	588	583,80	4,2

3. Seal Mold

Tabel 6. TTF dan TTR Komponen *Seal Mold*

Tanggal	<i>i</i>	Interval Kerusakan (Jam)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
25/03/2025	0	0	0	6,00
05/07/2025	1	525	520,70	4,30
19/07/2025	2	91	87,12	3,88
04/10/2025	3	448	439,00	9,00

Index of Fit untuk setiap distribusi

Penentuan distribusi *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) dilakukan untuk mengidentifikasi pola data yang terbentuk dari kejadian kerusakan mesin. Dalam penelitian ini, digunakan empat jenis distribusi data, yaitu normal, Weibull, lognormal, dan eksponensial, dengan cara menghitung nilai *index of fit* pada setiap komponen. Distribusi yang memiliki nilai *index of fit* paling mendekati 1 ditetapkan sebagai distribusi yang paling sesuai. Rekapitulasi hasil perhitungan *index of fit* tersebut disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi *Indeks of Fit* TTF dan TTR

<i>Indeks of Fit</i>		Distribusi			
Komponen		Normal	Lognormal	Eksponensial	Weibull
<i>Seal Chamber</i>	TTF	0,936	0,885	0,836	0,929
	TTR	0,987	0,985	0,949	0,985
<i>Heater Band</i>	TTF	0,994	0,986	0,960	0,996

<i>Indeks of Fit</i>		<i>Distribusi</i>			
Komponen		Normal	Lognormal	Eksponensial	Weibull
<i>Seal Mold</i>	TTR	0,945	0,938	0,871	0,963
	TTF	0,941	0,906	0,865	0,938
	TTR	0,901	0,917	0,964	0,880
Keterangan			<i>Index of Fit Terbesar</i>		
			<i>Index of Fit Terbesar Kedua</i>		
			<i>Index of Fit Terbesar Ketiga</i>		
			<i>Index of Fit Terbesar Keempat</i>		

Melakukan uji kecocokan distribusi TTF dan TTR

Pengujian distribusi pada data *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) dilakukan untuk menentukan apakah distribusi dengan nilai terbesar dapat diterima atau ditolak berdasarkan metode pengujian yang sesuai untuk masing-masing distribusi, yaitu Mann's Test, Kolmogorov–Smirnov Test, dan Bartlett's Test. Hasil pengujian distribusi TTF dan TTR pada setiap komponen disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi hasil pengujian distribusi TTF dan TTR

Komponen	TTF		TTR	
	Distribusi	<i>r</i>	Distribusi	<i>r</i>
<i>Seal Chamber</i>	Weibull	0,929	Weibull	0,985
<i>Heater Band</i>	Weibull	0,996	Weibull	0,963
<i>Seal Mold</i>	Weibull	0,938	Weibull	0,880

Menghitung MTTF dan MTTR

Perhitungan parameter *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) berdasarkan distribusi yang telah diuji melalui metode goodness of fit bertujuan untuk menentukan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) pada setiap komponen. Hasil perhitungan parameter TTF dan TTR untuk masing-masing komponen disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi Perhitungan Parameter TTF dan TTR

Komponen	Parameter MTTF	MTTF (Jam)	Parameter MTTR	MTTR (Jam)
<i>Seal Chamber</i>	α	-13,707	α	-29,575
	b	2,293	b	15,722
	θ	393,966	θ	6,560
<i>Heater Band</i>	α	-25,847	α	-8,982
	b	4,015	b	6,417
	θ	624,428	θ	4,053
<i>Seal Mold</i>	α	-5,602	α	-3,554
	b	0,918	b	1,853
	θ	446,447	θ	6,807

Menghitung keandalan komponen kritis

Perhitungan keandalan komponen dilakukan untuk mengetahui probabilitas kinerja komponen dalam suatu sistem kerja mesin, yaitu apakah komponen tersebut mampu beroperasi dengan baik sesuai dengan fungsinya. Hasil perhitungan nilai *reliability* pada masing-masing komponen disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Keandalan Komponen Kritis

Komponen	R%
Seal Chamber	46,9%
Heater Band	50,9%
Seal Mold	35,4%

Menentukan interval waktu pemeliharaan

Setelah dilakukan perhitungan keandalan komponen, diperoleh hasil bahwa tingkat keandalan yang dicapai masih berada di bawah target keandalan yang ditetapkan perusahaan, yaitu sebesar 90%. Oleh karena itu, diperlukan penentuan interval pemeliharaan yang tepat agar komponen tetap berada pada kondisi keandalan yang optimal. Perhitungan interval perawatan untuk komponen *seal chamber*, *heater band*, dan *seal mold* disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Interval perawatan komponen *seal chamber*, *heater band*, dan *seal mold*

Komponen	Waktu (jam)	Interval (Hari)
<i>Seal Chamber</i>	148	21
<i>Heater Band</i>	356	50
<i>Seal Mold</i>	38	5

Menghitung prediksi *downtime* komponen kritis

Perusahaan menargetkan peningkatan efisiensi penggunaan mesin guna memaksimalkan produktivitas, salah satunya melalui peningkatan keandalan mesin dan pengurangan *downtime* yang terjadi. Perkiraan penurunan *downtime* dapat dihitung berdasarkan nilai ketidakandalan dan keandalan komponen dengan asumsi waktu penggunaan mesin sebelum dan setelah dilakukan perbaikan berada pada kondisi yang sama. Nilai ketidakandalan diperoleh dari selisih antara keandalan maksimum komponen (100%) dengan nilai keandalan yang dicapai saat ini. Hasil perhitungan prediksi penurunan *downtime* tersebut disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Prediksi penurunan *downtime* komponen *seal chamber*, *heater band*, dan *seal mold*

Nama Komponen	<i>Downtime</i> (Jam)		
	Saat ini	Perbaikan	Selisih
<i>Seal Chamber</i>	49,41	9,30	40,11
<i>Heater Band</i>	19,90	4,06	15,84
<i>Seal Mold</i>	29,68	4,60	25,08

Membuat skenario pemeliharaan dan menghitung biaya pemeliharaan

Perhitungan biaya dalam penelitian ini mencakup *failure cost* dan *preventive cost*, yang selanjutnya dibandingkan untuk mengetahui besarnya biaya yang harus dikeluarkan perusahaan dalam kegiatan perawatan atau pemeliharaan mesin. *Failure cost* merupakan biaya yang timbul pada kondisi existing, yaitu kondisi mesin sebelum diterapkannya kegiatan *preventive maintenance*. Hasil perhitungan *failure cost* dan *preventive cost* disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Rekapitulasi Biaya Pemeliharaan

Biaya Pemeliharaan	Biaya Pemeliharaan/bulan
Saat Ini	Rp1.322.533.619
Skenario 1	Rp1.074.107.272
Skenario 2	Rp357.579.970
Skenario 3	Rp1.129.541.038
Skenario 4	Rp754.966.157

D. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemeliharaan mesin di PT Pindad saat ini masih menggunakan metode *corrective maintenance*, yaitu perbaikan dilakukan setelah kerusakan terjadi. Penerapan metode tersebut mengakibatkan tingginya *downtime*, karena proses perbaikan membutuhkan waktu lama, terutama ketika komponen pengganti tidak tersedia. Kondisi ini juga meningkatkan biaya pemeliharaan dan menimbulkan risiko produk cacat. Berdasarkan hasil analisis Pareto, terdapat tiga komponen kritis yang paling berpengaruh terhadap *downtime* mesin, yaitu *seal chamber*, *heater band*, dan *seal mold*.
2. Analisis keandalan sebelum *preventive maintenance* menunjukkan bahwa nilai keandalan awal komponen *seal chamber* sebesar 46,9%, *heater band* sebesar 50,9%, dan *seal mold* sebesar 35,4%. Melalui penentuan interval *preventive maintenance* yang optimal, keandalan komponen tersebut dapat ditingkatkan hingga mencapai target yang ditetapkan, sehingga risiko *breakdown* tidak terencana dapat diminimalkan.
3. Penentuan interval *preventive maintenance* untuk mencapai target keandalan 90% menghasilkan rekomendasi pemeliharaan komponen *seal chamber* setiap 148 jam, *heater band* setiap 356 jam, dan *seal mold* setiap 38 jam. Interval ini dapat meningkatkan keandalan komponen sesuai target dan menurunkan risiko *breakdown* yang tidak terencana.
4. Analisis empat skenario usulan *preventive maintenance* dilakukan dengan mempertimbangkan interval pemeliharaan, biaya *component loss*, biaya *production loss*, dan dampaknya terhadap *downtime*.
 - a. Skenario 1: Pemeliharaan dilakukan terpisah sesuai interval masing-masing komponen dengan biaya yang harus dikeluarkan perusahaan yaitu sebesar Rp1.074.107.272.
 - b. Skenario 2: Pemeliharaan *seal chamber* dilakukan sesuai interval yaitu sebesar 148 jam, sedangkan *heater band* dan *seal mold* mengikuti jadwal *seal chamber* dengan biaya yang harus dikeluarkan perusahaan yaitu sebesar Rp357.579.970.
 - c. Skenario 3: Pemeliharaan *heater band* dilakukan sesuai interval yaitu sebesar 356 jam, sedangkan *seal chamber* dan *seal mold* mengikuti interval *heater band* dengan biaya yang harus dikeluarkan perusahaan yaitu sebesar Rp1.129.541.038.
 - d. Skenario 4: Pemeliharaan *seal mold* dilakukan sesuai interval yaitu sebesar 38 jam, sedangkan *seal chamber* dan *heater band* mengikuti jadwal *seal mold* dengan biaya yang harus dikeluarkan perusahaan yaitu sebesar Rp754.966.157.
5. Berdasarkan analisis biaya, skenario kedua merupakan alternatif pemeliharaan terbaik karena mampu menurunkan total biaya pemeliharaan hingga 78,19% dibandingkan kondisi awal, sekaligus tetap menjaga keandalan mesin sesuai target Perusahaan.

Ucapan Terimakasih

Saya ucapkan terimakasih kepada keluarga saya khususnya kedua orang tua saya dan adik adik saya, beserta seluruh elemen yang membantu dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

Assauri, S. (2016). Manajemen Operasi Produksi, Pencapaian Sasaran Organisasi Berkesinambungan. Jakarta: PT.Raja Grafindo Persada.

Dharma, I. M., Susanto, T., dan Wijaya, R. (2019). Implementasi Total Productive Maintenance pada Mesin Injeksi Plastik. Jurnal Sistem Teknik Industri, 21(3), 112–125.

Ebeling, C. E. (2003). An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. New York: McGraw-Hill.

- Elsayed, E.A. (2021). *Reliability Engineering* (Edisi ke-3). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Heizer, J., Render, B., dan Munson, C. (2017). *Operation Management, Sustainability and Supply Chain Management* (12 ed.). New York: Pearson.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2021). *Laporan Kinerja Kementerian Perindustrian Tahun 2021*. Jakarta: Kementerian Perindustrian Republik Indonesia
- Kurniawan, E., dan Taufiqurrahman, M. (2017). Analisis Tingkat Keandalan dan Penentuan Interval Waktu Perawatan Mesin Pompa Distribusi Pada PDAM Tirta Muare Ulakan Sambas. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 4 (2), 1-2.
- Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Butterworth-Heinemann.
- Putra, R. A., dan Nugroho, S. (2022). Penjadwalan Preventive maintenance Berbasis Risiko pada Conveyor System. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 18(2), 77-91.
- Putro, D. M., dan Sholihah, Q. (2019). Analisis Keandalan (Reability) Pada Mesin Digester (Studi Kasus : PT.Smart TBK Batu Ampar Mill Kota Baru). *SMJE Kinematika*, 4 (1), 67 - 76.
- Rachman, T., Watunglawar, D. N., Amperajaya, M. D., Adnan, S. R., dan Sriwana, I. K. (2022). Penentuan Interval Waktu Penggantian dan Perbaikan Komponen Kritis Mesin Bubut Type SS - 850 di PT.Jaya Hamdan Makmur Dengan Metode Age Replacement. *Jurnal Metris*, 23 (01), 52 - 61.
- Rianto, A., Haryanto, B., dan Lestari, D. (2020). Penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk Meningkatkan Keandalan Mesin CNC Bubut. *Jurnal Teknik Industri*, 12(2), 89–102.
- Santoso, S. (2012). *Analisis SPSS Pada Statistik Parametrik*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Ilham Ramadhani Hasibuan, Rakhmat Ceha, Luthfi Nurwandi. Penerapan Model Supply Chain 4.0 Scorecard di MIKHA Coffee Shop Bandung. *Jurnal Riset Teknik Industri*. 2023 Dec 19;113–20. doi:10.29313/jrti.v3i2.2851
- Elshadi F, Muhammad CR. Penerapan Metode Lean Six Sigma untuk Mereduksi Waste pada Produksi Sepatu Sandal. *Jurnal Riset Teknik Industri*. 2022 Jul 6;17–26. doi:10.29313/jrti.v2i1.664

- Lubis. Penerapan Aplikasi Metode Taguchi untuk Analisis Pengendalian Kualitas Produksi Crude Palm Oil. *Jurnal Teknik Industri*. 2020;9(2).
- Putri CR. Perencanaan Persediaan Bahan Baku dengan Penerapan Konsep Decoupling Point untuk Mereduksi Lead Time. *Jurnal Riset Teknik Industri*. 2022 Feb 11;1(2):172–9. doi:10.29313/jrti.v1i2.509
- Fajar Iman Hermansyah, Rakhmat Ceha, Ahmad Arif Nurrahman. Strategi Penerapan Warehouse 7S untuk Memaksimalkan Peran Komite 7S di XYZ Mini Sort Hub Bandung. *Jurnal Riset Teknik Industri*. 2024 Jul 9;77–86. doi:10.29313/jrti.v4i1.3849
- Kusumah DLA, Muhammad CR. Penerapan 5s (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke) untuk Reduksi Non Value Added Activity di PT X. *Jurnal Riset Teknik Industri*. 2022 Feb 11;1(2):143–53. doi:10.29313/jrti.v1i2.484