

Penerapan Planned Maintenance untuk Peningkatan Produktivitas pada Mesin Autoclave Bagian Produksi Vaksin dan Anti Sera

Afina Muthi Fatharani*, Endang Prasetyaningsih

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

*muthifatharaniafina@gmail.com, endangpras@gmail.com

Abstract. Bio Farma is a state-owned company specializing in the production of vaccines and antisera within the country. Bio Farma exports its products to 117 countries. PT. Bio Farma implemented the Make To Order (MTO) strategy in meeting the demand for vaccine and antisera orders. In the process of producing vaccines and antisera, one of the machines is the Autoclave machine. The Autoclave machine is a special tool for hot-soil sterilization using pure steam that is in direct contact with the product. Companies generally do not realize that possible damage to machines can affect production. Total Autoclave engine downtime from January 2020 to December 2022 was 352.5 hours. Downtime of the Autoclave machine results in a product defect. The defect was caused by engine components vacuum pumps, hydraulic seals and temperature sensors. Damage to the Autoclave engine caused the engine to be unusable and disrupted the production process, which required repairs. Based on these problems, the Planned Maintenance method was chosen to reduce downtime by setting maintenance intervals and improving the reliability of the Autoclave machine. Prior to the planned maintenance action, the reliability of the vacuum pump component was 38.72% of the hydraulic seal component by 45.14% and the temperature sensor component by 34.98%. The expected reliability level by the company is 90%. In this study, three alternative maintenance interval calculations were made to obtain the reliability level the company wanted, the 90% yaitu. The calculation results show that to maintain the expected reliability value the maintenance of the vacuum pump components is carried out every 120 hours, the hydraulic seal components are carried out every 385 hours and the temperature sensor is carried out every 88 hours.

Keywords: *Planned Maintenance; Maintenance; Downtime.*

Abstrak. PT. Bio Farma merupakan perusahaan milik negara yang mengkhususkan kegiatan bisnisnya dalam memproduksi vaksin dan antisera dalam negeri maupun luar negeri. Bio Farma mengekspor produk-produknya ke 117 negara. PT. Bio Farma menerapkan strategi Make to Order (MTO) dalam memenuhi permintaan pesanan vaksin dan antisera. Dalam proses produksi vaksin dan antisera melalui salah satu mesin yaitu mesin Autoclave. Mesin Autoclave adalah suatu alat khusus sterilisasi panas-lembab menggunakan uap murni yang dapat kontak langsung dengan produk. Perusahaan pada umumnya tidak menyadari bahwa kerusakan-kerusakan yang mungkin terjadi pada mesin dapat mempengaruhi kegiatan produksi. Total downtime mesin Autoclave periode Januari 2020 hingga Desember 2022 sebesar 352,5 jam. Downtime mesin Autoclave mengakibatkan kecacatan produk. Downtime tersebut disebabkan oleh komponen vacuum pump, seal hidrolik dan sensor suhu. Kerusakan yang terjadi pada mesin Autoclave menyebabkan mesin mati sehingga tidak dapat digunakan dan mengganggu jalannya proses produksi, sehingga perlu dilakukan perbaikan. Berdasarkan permasalahan tersebut, metode Planned Maintenance dipilih untuk mereduksi downtime dengan menentukan interval pemeliharaan dan meningkatkan keandalan mesin Autoclave. Sebelum adanya tindakan planned maintenance didapatkan hasil keandalan dari komponen seal hidrolik sebesar 44,63% komponen sensor suhu sebesar 35,11% dan komponen vacuum pump sebesar 38,86%. Dalam penelitian ini dibuat 5 alternatif perhitungan interval pemeliharaan untuk mendapatkan tingkat keandalan yang diinginkan perusahaan, yaitu 90%. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk mempertahankan nilai keandalan yang diharapkan pemeliharaan komponen seal hidrolik dilakukan setiap 366 jam, komponen sensor suhu dilakukan setiap 94 jam dan vacuum pump dilakukan setiap 116 jam.

Kata Kunci: *Planned Maintenance; Maintenance; Downtime.*

A. Pendahuluan

PT. Bio Farma menerapkan strategi produksi MTO (Make To Order) dalam merespon permintaan pesanan vaksin dan antisera. Proses produksi dilakukan mulai dari pengolahan bahan baku hingga menjadi produk. Hasil produk vaksin dan antisera memiliki masa kadaluarsa paling lama dua tahun. Berdasarkan data permintaan produk diketahui bahwa produk Serum ABU (Serum Anti Bisa Ular) dan Serum Tetanus (ATS) memiliki data permintaan tertinggi dari semua produk vaksin dan antisera. Dalam proses produksinya, untuk menghasilkan produk Serum ABU (Anti Bisa Ular) dan Serum Tetanus (ATS) melalui mesin Press Filter dan mesin *Autoclave*.

Mesin *Autoclave* merupakan suatu alat khusus yang digunakan untuk sterilisasi peralatan, tempat, wadah atau material yang akan digunakan dalam proses steril. Proses sterilisasi pada *Autoclave* merupakan sterilisasi panas-lembab menggunakan uap murni yang dapat kontak langsung dengan produk. PT. Bio Farma memiliki satu jenis mesin *Autoclave* Telstar Model SM 101215. Jadwal *preventive maintenance* pada mesin *Autoclave* menunjukkan mesin *Autoclave* memiliki jadwal *maintenance* masing-masing. Ada yang dilakukan setiap minggu dan ada yang dilakukan setiap beberapa tahun sekali. Jadwal *maintenance* tersebut telah ditetapkan oleh PT. Bio Farma dan Telstar. Berdasarkan hasil wawancara dengan operator, masalah yang dimiliki PT. Bio Farma yaitu adanya kerusakan pada komponen mesin *Autoclave* yang menyebabkan *downtime*. Data *downtime* di mesin *Autoclave* pada PT. Bio Farma ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan TTF dan TTR komponen Seal Hidrolik

No	Tahun	<i>Downtime</i> (Jam)
1	2020	115,25
2	2021	117,5
3	2022	119,75

Data *downtime* yang didapatkan sudah termasuk dengan data *repair* dari setiap komponen. Mesin yang mengalami *downtime* mengakibatkan kecacatan produk. *Downtime* tersebut disebabkan oleh komponen mesin *vacuum pump*, seal hidrolik pintu dan sensor suhu. Komponen *vacuum pump* berfungsi untuk menghilangkan udara dan mengurangi tekanan di dalam mesin *Autoclave*. Komponen seal hidrolik pintu berfungsi untuk menghalangi kebocoran dari mesin *Autoclave*. Komponen sensor suhu berfungsi untuk mendeteksi suhu di dalam mesin *Autoclave* saat melakukan sterilisasi dengan suhu yang sesuai dengan prosedur.

Mesin *Autoclave* yang berada di PT. Bio Farma merupakan awal mula proses produksi dimulai. Fokus utama pada penelitian ini yaitu mengatasi permasalahan *downtime* pada mesin *Autoclave* di bagian Produksi Vaksin dan Antisera. Mesin *Autoclave* merupakan mesin yang lebih kompleks dan *computerized*, maka jika terjadi kerusakan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk melakukan perbaikan. Mesin *Autoclave* yang mengalami *downtime* dikarenakan komponen mesin mengalami kerusakan yang menyebabkan kecacatan produk dan mengganggu jalannya proses produksi.

Pendekatan dengan menggunakan metode *Planned Maintenance* atau perawatan terencana yang merupakan salah satu pilar dari Total *Productive Maintenance* (TPM), Penerapan metode *Planned Maintenance* pada mesin *Autoclave* diharapkan akan dapat meningkatkan produktivitas sebagai sebuah mesin pengemas otomatis yang digunakan untuk membantu mempermudah pekerjaan di pabrik dengan lebih efektif baik dari segi waktu maupun tenaga. Perawatan atau *maintenance* menurut Ebeling [1] adalah aktivitas agar suatu komponen atau system yang rusak akan dikembalikan atau diperbaiki dalam suatu kondisi tertentu pada periode tertentu [2]. Menurut Patrick [3] perawatan atau *maintenance* adalah suatu kegiatan untuk memelihara dan menjaga fasilitas yang ada serta memperbaiki. Melakukan penyesuaian atau pergantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi operasi produksi agar sesuai dengan perencanaan yang ada.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat ditentukan rumusan masalah dan tujuan penelitian sebagai berikut:

Rumusan masalah:

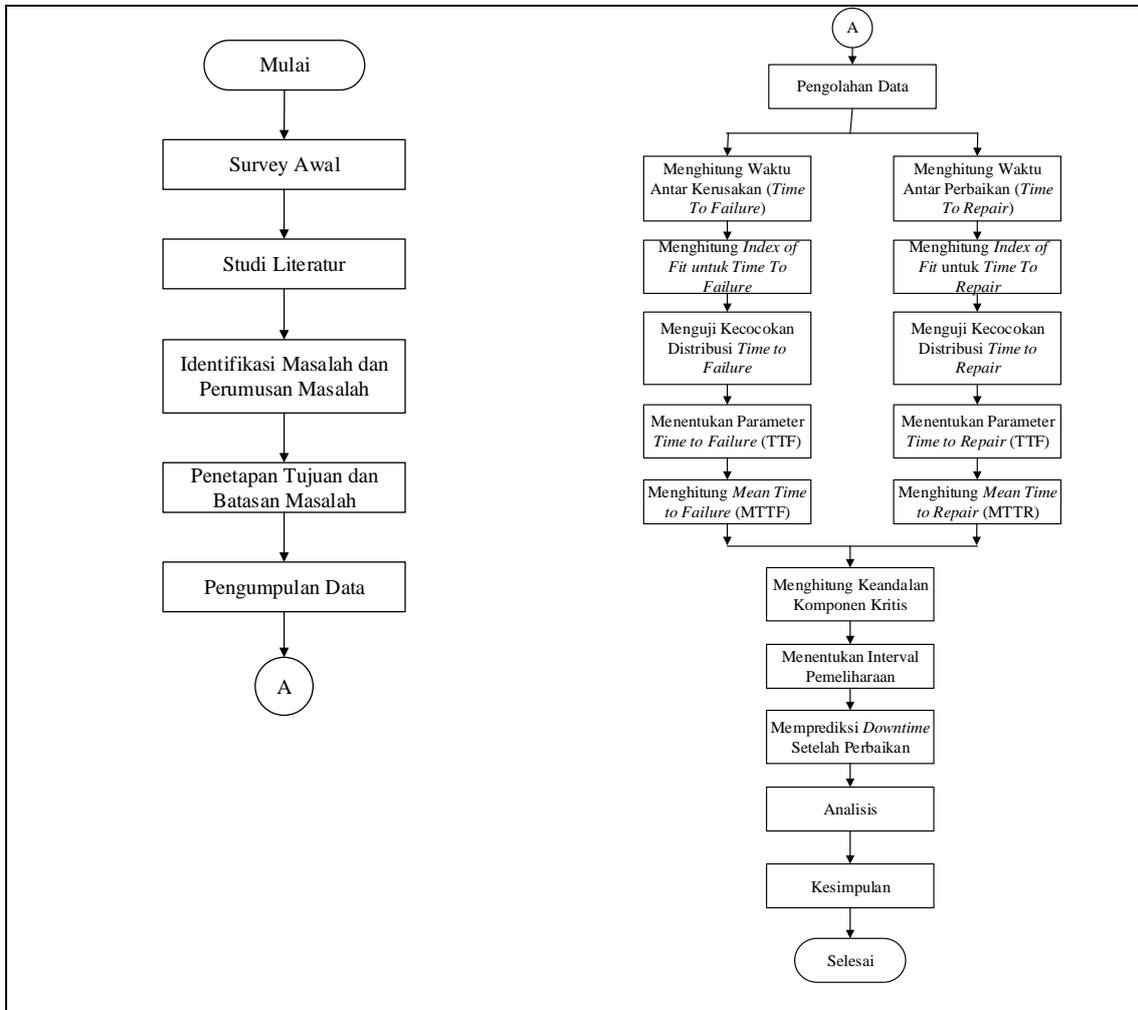
Mengacu pada uraian latar belakang, diketahui bahwa masalah kerusakan mesin *Autoclave* menyebabkan downtime. Maka dari itu, masalah yang dibahas pada penelitian ini yaitu menentukan interval pemeliharaan untuk mengurangi downtime dan menentukan pemeliharaan berdasarkan pada biaya terkecil.

Tujuan penelitian:

1. Menentukan waktu interval pemeliharaan pada mesin *Autoclave*
2. Membandingkan *downtime* sebelum dan setelah penerapan *planned maintenance*.
3. Penghematan biaya pemeliharaan untuk mesin *Autoclave*.

B. Metodologi Penelitian

Tahapan-tahapan yang akan dilakukan untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian terdiri dari survey awal, identifikasi masalah dan perumusan masalah, penetapan tujuan dan batasan penelitian, pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan rekomendasi serta kesimpulan. Tahap penelitian tersebut terperinci dalam Metodologi yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pemecahan Masalah

Uraian untuk setiap proses dari *flowchart* Metodologi penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Survey awal ialah suatu kegiatan yang dilakukan untuk meninjau perusahaan secara langsung terhadap permasalahan-permasalahan yang dihadapi perusahaan.
2. Studi Literatur berupa buku panduan dan jurnal. Teori yang digunakan pada penelitian terkait dalam penelitian ini adalah teori pemeliharaan, keandalan, distribusi kerusakan, uji kecocokan, perhitungan *Time to Failure* (TTF), *Time to Repair* (TTR) dan perhitungan biaya.
3. Identifikasi dan Perumusan Masalah dibuat berdasarkan survey awal yang telah terlaksana dan diperoleh dari hasil diskusi serta pengamatan permasalahan yang terdapat pada mesin *Autoclave*.
4. Penetapan Tujuan dan Batasan Penelitian dilakukan untuk menjawab pertanyaan dari perumusan masalah yang ingin dicapai dari pembahasan topik penelitian.
5. Pengumpulan Data waktu kerja, riwayat kerusakan mesin, waktu kerusakan, waktu perbaikan dan biaya komponen, biaya teknisi dan harga produk.
6. Pengolahan Data

- Perhitungan TTF, terlebih dahulu melakukan perhitungan jumlah hari antar kerusakan.

$$\text{Jumlah hari antar kerusakan} = O_{i+1} - O_i \dots\dots\dots (1)$$

- Nilai TTR berdasarkan lamanya waktu memperbaiki mesin.

$$TTF_{i+1} = O_{i+1} - O_i - TTR_i \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- TTF_{i+1} : Waktu antar kerusakan komponen periode $i + 1$.
- O_{i+1} : Waktu kumulatif operasi komponen pada periode $i + 1$.
- O_i : Waktu kumulatif operasi komponen pada periode i .
- TTR_i : Waktu untuk memperbaiki komponen pada periode i .

- Menentukan *index of fit* (r) TTF dan TTR untuk setiap distribusi kerusakan.
- Menguji kecocokan distribusi data TTF dan TTR untuk mengetahui kesesuaian pola distribusi dengan data yang diperoleh.
- Menentukan parameter untuk TTF dan TTR berdasarkan distribusi normal dan lognormal
- Menghitung MTTF dan MTTR.

MTTF/MTTR distribusi lognormal/normal menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$MTTF / MTTR = t_{med} \exp\left(\frac{s^2}{2}\right) \dots\dots\dots (3)$$

Untuk menghitung nilai MTTR/MTTF dari distribusi eksponensial dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$MTTF / MTTR = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (4)$$

Untuk menghitung nilai MTTF/MTTR distribusi Weibull menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MTTF / MTTR = \theta \gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots (5)$$

Nilai $\gamma(1 + \frac{1}{\beta}) = \gamma(x)$ dapat dilihat pada Tabel Fungsi Gamma

- Menghitung keandalan dari komponen kritis mesin *Autoclave* yang telah ditentukan sebelumnya.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)} \dots\dots\dots (6)$$

Dengan:

- $R(t)$: peluang dari keandalan hingga *planned maintenance*.
- $R(t - T)$: peluang dari keandalan antara waktu $t - T$ setelah sistem dikembalikan pada kondisi awal pada saat T .

Menghitung keandalan dengan *planned maintenance* adalah sebagai berikut:

$$R_m(t) = R(T)^n \times R(t - nT) \text{ untuk } nT \leq t \leq (n + 1) T \quad (7)$$

Keterangan:

- n : jumlah pemeliharaan.
- $R_m(t)$: keandalan dengan *planned maintenance*.
- $R(T)^n$: probabilitas keandalan hingga n selang waktu pemeliharaan.
- $R(t - nT)$: probabilitas keandalan untuk waktu $t-nT$ dari tindakan *planned maintenance* yang terakhir.

- Menghitung biaya pemeliharaan.

Failure Cost

$$C_f = \left[(\text{Biaya Teknisi} + \text{Biaya Production Loss}) \times T_f \right] + \text{Biaya Komponen} \quad (8)$$

Dengan:

C_f : biaya siklus *failure*

T_f : nilai MTTR

Preventive Cost

$$C_p = \left[(\text{Biaya Teknisi} + \text{Biaya Production Loss}) \times T_p \right] + \text{Biaya Komponen} \quad (9)$$

Dengan:

C_p : biaya siklus *preventive*.

T_p : waktu pemeliharaan setelah *planned maintenance*.

$\text{Biaya Production Loss} = \text{Kapasitas Mesin} \times \text{Harga Produk}$ (10)

7. Analisis meliputi nilai MTTF dan MTTR, penerapan *planned maintenance* berupa usulan jadwal pemeliharaan komponen dan perhitungan biaya.
8. Kesimpulan dan saran merupakan jawaban dari perumusan atau tujuan penelitian dan memuat saran untuk penelitian lanjutan.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

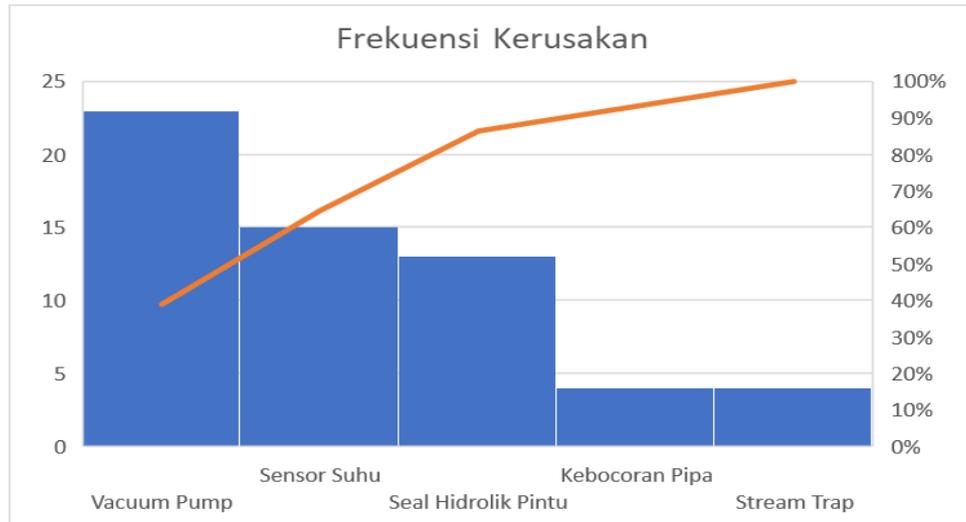
Penentuan Komponen Kritis mesin *Autoclave*

Downtime disebabkan oleh kerusakan yang dari komponen mesin yang membutuhkan perbaikan atau penggantian. Tabel 2 menunjukkan jenis kerusakan dan komponen yang mengalami kerusakan.

Tabel 2. Jenis Kerusakan dan Komponen yang Mengalami Kerusakan

No	Jenis Kerusakan	Komponen Yang Mengalami Kerusakan	Frekuensi Kerusakan
1	Vacuum Pump Rusak	Vacuum Pump	23
2	Sensor Suhu Error	Sensor Suhu	15
3	Seal Hidrolik Pintu Rusak	Seal Hidrolik Pintu	13
4	Kebocoran Pipa	Pipa	4
5	Stream Trap	Stream Trap	4

Komponen yang memiliki nilai frekuensi kerusakan tertinggi akan dilakukan tindakan pemeliharaan menggunakan *Planned Maintenance* yaitu *Vacuum pump*, Sensor Suhu dan *Seal Hidrolik Pintu* yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Frekuensi Kerusakan Komponen Mesin *Autoclave*

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

Merujuk pada persamaan (1) Perhitungan *Time to Failure* adalah lamanya waktu antar terjadinya kerusakan ke kerusakan selanjutnya, merujuk pada persamaan (2) *Time to Repair* adalah waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kerusakan Seal Hidrolik hingga bisa beroperasi secara normal kembali. Berikut hasil perhitungan TTF dan TTR untuk masing-masing komponen pada Tabel 3, 4 dan 5.

Komponen Seal Hidrolik

Tabel 3. Hasil Perhitungan TTF dan TTR komponen Seal Hidrolik

i	TTF	TTR	i	TTF	TTR	i	TTF	TTR
0	0	2,85	5	1362,54	2,62	9	774,49	2,71
1	1509,15	2,87	6	438,38	2,58	10	1929,29	2,6
2	627,13	2,13	7	2265,42	2,05	11	291,4	2,59
3	984,87	2,44	8	606,95	2,51	12	1425,41	2,13

Komponen Sensor Suhu

Tabel 4. Hasil Perhitungan TTF dan TTR Komponen Sensor Suhu

i	TTF	TTR	i	TTF	TTR	i	TTF	TTR
0	0	3,83	8	941,06	3,15	16	164,62	3,36
1	80,17	3,82	9	227,85	3,76	17	2201,64	3,22
2	122,18	3,62	10	647,24	3,5	18	605,78	3,78
3	353,38	3,7	11	1025,5	3,74	19	416,22	3,81
4	983,3	3,29	12	122,26	3,92	20	206,19	3,2
5	290,71	3,78	13	1466,08	3,55	21	1508,8	3,95
6	248,22	3,1	14	689,45	3,33	22	1088,05	3,41
7	1403,9	3,94	15	2474,67	3,38			

Komponen Vacuum Pump

Tabel 5. Hasil Perhitungan TTF dan TTR Komponen Vacuum Pump

i	TTF	TTR	i	TTF	TTR	i	TTF	TTR
0	0	1,23	5	3358,53	1,44	11	124,19	1,81
1	145,77	1,82	6	481,56	1,5	12	334,19	1,63
2	943,18	1,19	7	1888,5	1,22	13	313,37	1,92
3	3841,81	1,27	8	1846,78	1,87	14	1552,08	1,22
4	859,73	1,47	9	124,13	1,5			
5	3358,53	1,44	10	229,5	1,81			

Menentukan *index of fit* (r) TTF dan TTR untuk setiap distribusi kerusakan.

Penentuan distribusi TTF dan TTR digunakan untuk mengetahui pola data yang terbentuk dalam kerusakan mesin, maka digunakan 4 pola data yaitu Normal, Lognormal, Eksponensial dan Weibull dengan menghitung *index of fit* setiap komponen, apabila setiap distribusi nilai *index of fit* nya mendekati 1 maka distribusi tersebut terpilih. Hasil penentuan distribusi TTF dan TTR ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. *index of fit* TTF dan TTR

<i>Index of Fit</i>		Distribusi			
Komponen		Normal	Lognormal	Eksponensial	Weibull
Seal Hidrolik	TTF	0,982	0,988	0,976	0,994
	TTR	0,960	0,950	0,867	0,965
Sensor Suhu	TTF	0,906	0,977	0,983	0,953
	TTR	0,963	0,962	0,880	0,950
Vacuum Pump	TTF	0,938	0,986	0,989	0,977
	TTR	0,975	0,973	0,867	0,967

Keterangan: warna kuning menunjukkan *index of fit* terbesar pertama dan Warna biru menunjukkan *index of fit* terbesar kedua

Berdasarkan Tabel 6, didapatkan nilai *index of fit* komponen seal hidrolik pada *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) yang mendekati nilai 1 adalah distribusi Weibull selanjutnya nilai *index of fit* terbesar kedua berdistribusi Normal. Komponen sensor suhu pada *Time to Failure* (TTF) yang mendekati nilai 1 adalah distribusi Eksponensial selanjutnya nilai *index of fit* terbesar kedua berdistribusi Lognormal, sedangkan *Time to Repair* (TTR) yang mendekati nilai 1 adalah distribusi Lognormal selanjutnya nilai *index of fit* terbesar kedua berdistribusi Normal. Komponen *vacuum pump* pada *Time to Failure* (TTF) yang mendekati nilai 1 adalah distribusi Eksponensial selanjutnya nilai *index of fit* terbesar kedua berdistribusi Lognormal, sedangkan *Time to Repair* (TTR) yang mendekati nilai 1 adalah distribusi Normal selanjutnya nilai *index of fit* terbesar kedua berdistribusi Lognormal.

Menguji kecocokan distribusi data TTF dan TTR untuk mengetahui kesesuaian pola distribusi dengan data yang diperoleh.

Pengujian distribusi pada TTF dan TTR dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi yang mendapatkan nilai terbesar ditolak atau dapat diterima berdasarkan cara uji masing – masing distribusi yaitu *mann's test*, *Kolmogorov smirnof test*, dan *barlets test*. Berikut ini adalah pengujian distribusi TTF dan TTR untuk masing – masing komponen ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan *Goodness Of Fit*

Komponen	TTF		TTR	
	Distribusi	r	Distribusi	r
Seal Hirolik	Weibull	0,99402	Weibull	0,96824
Sensor Suhu	Weibull	0,95274	Weibull	0,93458
Vacuum Pump	Weibull	0,97697	Weibull	0,96795

Menghitung MTTF dan MTTR.

Berdasarkan Tabel 7, distribusi Weibull merupakan distribusi yang terpilih. Setelah diketahui distribusi terpilih berdasarkan uji *Goodness Of Fit*, langkah berikutnya yaitu melakukan perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) dari setiap komponen. Merujuk pada persamaan (5) parameter yang digunakan untuk menghitung MTTR dan MTTF adalah parameter bentuk (β) dan parameter skala (θ). Hasil perhitungan MTTF dan MTTR untuk masing masing komponen ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan MTTF dan MTTR

Komponen	MTTF (Jam)	MTTR (Jam)
Seal Hirolik	1121,29	2,85
Sensor Suhu	1191,84	1,53
Vacuum Pump	791,08	3,53

Menghitung keandalan dari komponen kritis mesin Autoclave.

Setelah melakukan perhitungan MTTF dan MTTR, hasil yang didapatkan masih jauh dari target keandalan yang diharapkan perusahaan yaitu 90%, maka dari itu perlu dilakukan penentuan interval pemeliharaan agar komponen tetap pada kondisi keandalan yang prima. Sebelumnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai keandalan sebelum diterapkan *planned maintenance* yang merujuk pada persamaan (6). Hasil perhitungan keandalan dari komponen kritis mesin *Autoclave* ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Keandalan Mesin *Autoclave* sebelum *planned maintenance*

Nama Komponen	Keandalan Sebelum PM (%)
Seal Hidrolik	44,63
Sensor Suhu	35,11
Vacuum Pump	38,86

Merujuk pada persamaan (7) setelah diterapkannya *planned maintenance* didapatkan nilai interval pemeliharaan untuk mempertahankan nilai keandalan sebesar 90%. Berikut merupakan nilai interval pemeliharaan yang ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Interval Pemeliharaan

Komponen	Interval Pemeliharaan (Jam)
Seal Hirolik	366
Sensor Suhu	94
Vacuum Pump	116

Menghitung biaya pemeliharaan.

Biaya pemeliharaan dihitung berdasarkan pemeliharaan kondisi saat ini dan setelah penerapan *planned maintenance*. Biaya pemeliharaan dipengaruhi oleh biaya *production loss*, biaya teknis, harga komponen, waktu MTTR, waktu perbaikan setelah *planned maintenance*, dan frekuensi pemeliharaan. Merujuk pada persamaan (10) biaya *production loss* didapatkan dari kapasitas mesin *Autoclave* dan harga produk. Pada perhitungan biaya ini, diasumsikan bahwa setiap kerusakan komponen akan menyebabkan penggantian komponen. Berikut merupakan hasil biaya pemeliharaan kondisi saat ini yang ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Biaya Pemeliharaan Kondisi Saat ini

Bulan	Total Biaya <i>Production Loss</i> / bulan	Total Biaya <i>Production Loss</i>	Total Biaya Pemeliharaan
Januari	Rp39.214.665	Rp171.172.575	Rp241.541.209
Februari	Rp42.829.290		
Maret	Rp89.128.620		

Berdasarkan Tabel 10 didapatkan perhitungan biaya pemeliharaan setelah *planned maintenance* dilakukan dengan lima skenario, yaitu:

1. Skema 1 dilakukan pemeliharaan terpisah dengan melakukan pemeliharaan sesuai dengan interval masing-masing komponen.
2. Skema 2 dilakukan pemeliharaan gabungan antara komponen sensor suhu dan komponen *vacuum pump* di interval pemeliharaan sensor suhu, sedangkan seal hidrolis tetap pada intervalnya masing-masing
3. Skema 3 dilakukan pemeliharaan gabungan antara komponen seal hidrolis dan komponen *vacuum pump* di interval pemeliharaan *vacuum pump*, sedangkan sensor suhu tetap pada intervalnya masing-masing.
4. Skema 4 dilakukan pemeliharaan gabungan antara komponen seal hidrolis dan komponen sensor suhu di interval waktu sensor suhu, sedangkan *vacuum pump* tetap pada intervalnya masing-masing.
5. Skema 5 dilakukan pemeliharaan gabungan interval pemeliharaan dari semua komponen.
6. Berikut merupakan hasil perbandingan total biaya pemeliharaan berdasarkan lima skema yang telah dibuat ditunjukkan pada Tabel12.

Tabel 12. Hasil Perhitungan Biaya Pemeliharaan Setelah *Planned Maintenance*

Skenario Pemeliharaan				
Skema 1	Skema 2	Skema 3	Skema 4	Skema 5
Rp215.042.500	Rp248.217.112	Rp265.949.969	Rp274.753.660	Rp321.511.149

Berdasarkan Tabel 12 terdapat lima skenario pemeliharaan. Diantara lima skenario tersebut diketahui skema 1 memiliki biaya pemeliharaan yang lebih rendah yaitu Rp.215.042.500,-.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh dengan memberikan usulan interval pemeliharaan menggunakan pendekatan *planned maintenance*, dapat ditarik kesimpulan bahwa: Mesin *Autoclave* pada kondisi saat ini menunjukkan pada komponen seal hidrolis mengalami *downtime* sebesar 115,25 jam dengan keandalan 44,63%, komponen sensor suhu mengalami *downtime* sebesar 117,5 jam dengan keandalan 35,11% dan komponen *vacuum pump* mengalami *downtime* sebesar 119,75 jam dengan keandalan 38,86%. Setelah diterapkannya *planned maintenance* dengan interval pemeliharaan komponen seal hidrolis 366 jam, komponen

seal hidrolik mengalami penurunan *downtime* menjadi 20.32 jam. Interval pemeliharaan sensor suhu setiap 94 jam, komponen sensor suhu mengalami penurunan *downtime* menjadi 12.94 jam dan Interval pemeliharaan *vacuum pump* setiap 116 jam atau, komponen *vacuum pump* mengalami penurunan *downtime* menjadi 25.82 jam. Terdapat 5 skema pemeliharaan yang diusulkan, yaitu:

1. Skema 1 dilakukan pemeliharaan terpisah dengan melakukan pemeliharaan sesuai dengan interval masing-masing komponen. Total biaya pemeliharaan yang harus dikeluarkan perusahaan sebesar Rp. 215.042.500,-
2. Skema 2 dilakukan pemeliharaan gabungan antara komponen sensor suhu dan komponen *vacuum pump*, sedangkan seal hidrolik tetap pada intervalnya. Total biaya pemeliharaan yang harus dikeluarkan perusahaan sebesar Rp. 248.217.112,-
3. Skema 3 dilakukan pemeliharaan gabungan antara komponen seal hidrolik dan komponen *vacuum pump*, sedangkan sensor suhu tetap pada intervalnya. Total biaya pemeliharaan yang harus dikeluarkan perusahaan sebesar Rp. 265.949.969,-
4. Skema 4 dilakukan pemeliharaan gabungan antara komponen seal hidrolik dan komponen sensor suhu, sedangkan *vacuum pump* tetap pada intervalnya. Total biaya pemeliharaan yang harus dikeluarkan perusahaan sebesar Rp. 274.753.660,-
5. Skema 5 dilakukan pemeliharaan gabungan semua komponen. Total biaya pemeliharaan yang harus dikeluarkan perusahaan sebesar Rp. 321.511.149,-

Sebelum adanya usulan *planned maintenance* perusahaan harus mengeluarkan biaya pemeliharaan sebesar Rp.241.541.209,-. Setelah diterapkan *planned maintenance*, didapatkan lima skenario biaya pemeliharaan. Dari lima skenario tersebut didapatkan skema 1 memiliki biaya pemeliharaan sebesar Rp.215.042.500,-, biaya pemeliharaan skema 1 lebih rendah dibandingkan dengan biaya pemeliharaan sebelumnya. Perusahaan dapat menghemat biaya pemeliharaan sebesar Rp.26.498.709,-.

Acknowledge

Ucapan terimakasih saya ucapkan kepada orang tua, dosen pembimbing dan seluruh elemen yang telah membantu dalam penyusunan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Ebeling, C.E. (2019). An introduction to reliability and maintainability. engineering. 3rd ed. Illinois: Eland Press, Inc.
- [2] Nurfaizah, U., Aldianto, R.H. dan Pralssetiyo, H. (2014). Rancangan penerapan Total Productive Maintenance (TPM) di Bagian Press II PT XYZ. Jurnal Online Teknik Industri Itenas, 2(1). 8-12..
- [3] Patrick, D.T.O (2001). Practical reliability engineering, 4th ed. Chichester, England: John Wiley & Sons. Ltd.