

PENENTUAN INTERVAL WAKTU PERAWATAN KOMPONEN KRITIS PADA MESIN *INJECTION MOLDING* PLASTIK DENGAN METODE *AGE REPLACEMENT* PADA PT. XYZ

Rifky Gilang Alamsyah¹, Wiwin Widiasih²

Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

E-mail : rifkygilang38@gmail.com¹, wiwin_w@untag-sby.ac.id²

ABSTRAK

PT. XYZ merupakan perusahaan di bidang manufaktur yang memproduksi sandal. Perusahaan ini menggunakan perawatan mesin secara korektif yang berarti perusahaan hanya memperbaiki atau mengganti komponen mesin jika terjadi kerusakan saja tanpa adanya perawatan pencegahan atau pemeriksaan yang terjadwal. Oleh karena itu, dengan metode *age replacement* bertujuan untuk perusahaan mengetahui kapan dilakukan penggantian pencegahan dan pemeriksaan komponen mesin. Komponen *screw barrel* dan *oil cooler* merupakan komponen kritis berdasarkan dari analisa frekuensi kerusakan menggunakan diagram *pareto* 80:20. Diketahui bahwa interval waktu penggantian pencegahan komponen *screw barrel* selama 48.000 menit dan komponen *oil cooler* selama 89.000 menit dengan interval pemeriksaan komponen selama 6 dan 19 hari sekali untuk masing – masing komponen mesin. Komponen mesin Setelah dilakukan *preventive maintenance* memiliki nilai *reability* dan *availability* mendekati 1 dan dapat diprediksi berfungsi dengan baik dan dapat bekerja sesuai interval waktu yang telah ditentukan. Selisih total biaya penggantian komponen mesin yang diterapkan oleh perusahaan dengan total biaya *preventive maintenance* yang diusulkan adalah sebesar Rp 2.588.718 untuk komponen *screw barrel* dan sebesar Rp 392.898 untuk komponen *oil cooler* atau sebesar 12-13% untuk tiap komponen.

Kata Kunci: *Age Replacement*; Komponen Kritis; Biaya Perawatan.

ABSTRACT

PT. XYZ is a manufacturing company that produces sandals. The company uses corrective machine maintenance, which means that the company only repairs or replaces machine components in the event of damage without any scheduled preventive maintenance or inspection. Therefore, with the age replacement method, the company will know when to do preventive replacement and inspection of machine components. The screw barrel and oil cooler components are critical components based on damage frequency analysis using an 80:20 Pareto diagram. It is known that the time interval for preventive replacement of screw barrel components for 48,000 minutes and oil cooler components for 89,000 minutes with component inspection intervals for 6 and 19 days for each machine component. Machine components after preventive maintenance have a reliability and availability value close to 1 and can be predicted to function properly and can work according to a predetermined time interval. The difference in the total cost of replacing engine components applied by the company with the total cost of preventive maintenance proposed is Rp 2,588,718 for screw barrel components and Rp 392,898 for oil cooler components or 12-13% for each component.

Keyword: *Age Replacement*; *Critical Components*; *Maintenance Cost*.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri saat ini cukup pesat dan memiliki persaingan yang cukup ketat. Hal ini menyebabkan perusahaan dituntut untuk meningkatkan kinerja produksi agar dapat bersaing dengan kompetitor dalam hal kualitas produk dan kecepatan serta ketepatan memenuhi permintaan konsumen.

Menurut Asih et al., (2021) salah satu permasalahan perusahaan yaitu kelancaran arus produksi yang tidak stabil dikarenakan pemeliharaan dan perawatan mesin yang dilakukan dinilai kurang efektif. Pemeliharaan dan perawatan mesin maupun peralatan yang digunakan akan menentukan kelancaran dari proses produksi yang beroperasi. Dalam perawatan ada dua macam jenis yang biasa dipakai yaitu perawatan pencegahan atau *preventive maintenance* dan perawatan perbaikan atau *corrective maintenance* (Fansuri et al., 2016).

PT. XYZ adalah salah satu perusahaan manufaktur yang memproduksi sandal. Perusahaan ini menggunakan metode korektif atau *corrective maintenance* yang berarti perusahaan hanya melakukan perbaikan atau penggantian komponen mesin jika terjadi kerusakan saja (Yuda Prawiro, 2015). Oleh karena itu, Strategi yang tepat untuk menjaga mesin agar dapat beroperasi adalah dengan cara menentukan interval waktu perawatan peralatan yang optimal dengan tujuan minimasi *downtime* yang nantinya akan dibuat dalam bentuk jadwal perawatan (Septyani & Taufik, 2015).

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis nilai laju kerusakan, parameter *reliability*, *maintainability*, *availability*, serta menganalisis biaya perawatan (Sodikin, 2010). Metode age replacement merupakan metode penjadwalan penggantian komponen berdasarkan umur komponen yang optimal (Haririn & Wulandari, 2019). Dengan metode *preventive maintenance* perusahaan dapat mengetahui interval waktu penggantian pencegahan dan pemeriksaan komponen mesin untuk meminimasi *downtime*. Diharapkan metode ini dapat memperlancar proses produksi dan menjadi pembanding antara biaya perawatan perusahaan menggunakan metode *corrective maintenance* dengan biaya perawatan menggunakan metode *preventive maintenance*.

MATERI DAN METODE

Objek pada penelitian ini adalah komponen kritis pada mesin *injection molding* plastik. Data yang dibutuhkan yaitu data kerusakan komponen mesin dan biaya – biaya perawatan yang dikeluarkan perusahaan saat dilakukan perawatan mesin seperti biaya kerugian produksi, biaya teknisi, dan harga unit komponen. Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data perusahaan serta wawancara dengan teknisi mesin.

Pemilihan komponen kritis dilakukan dan dianalisa dengan menggunakan prinsip pareto. Kemudian melakukan perhitungan pola distribusi data dari data waktu antar kerusakan (Yuda Prawiro, 2015). Prinsip 80/20 menegaskan bahwa sebagian kecil penyebab, masukan atau upaya biasanya menghasilkan sebagian besar hasil, keluaran, atau imbalan dimana sekitar 80 % dari total *downtime* komponen mesin mewakili 20 % komponen mesin (Koch, 1997).

Uji *Goodness of Fit* dibagi menjadi dua jenis yaitu uji umum dan uji khusus . Untuk uji umum menggunakan *chi square test* karena memiliki ukuran sample yang lebih besar. Sedangkan untuk uji khusus digunakan untuk ukuran sampel lebih kecil dan menggunakan *Least Square Test*. Yang termasuk dalam uji khusus yaitu *Kolmogrov-Smirnov* ber-distribusi normal dan Lognormal, *Barlett Test* digunakan ber-distribusi Eksponensial, dan *Mann's Test* untuk distribusi *Weibull* (E. Ebeling, 1997).

Distribusi kerusakan adalah informasi mengenai umur pakai suatu peralatan. Distribusi yang digunakan pada penelitian ini adalah distribusi yang menggunakan variabel acak yang kontinyu (waktu, jarak, temperatur) (Septiyan et al., n.d.). Adapun distribusi kerusakan yang umum digunakan sebagai model distribusi keandalan yaitu :

1. Distribusi Weibull

Dibawah ini adalah gambar fungsi distribusi Weibull (E. Ebeling, 1997)

a. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = 1 - \exp \left[\left(-\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (1)$$

b. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2)$$

$$R(t) = e \left[\left(-\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (3)$$

c. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \quad (4)$$

2. Distribusi Normal

Rumus yang digunakan pada distribusi normal yaitu (Dhillon, 2007) dan (E. Ebeling, 1997) :

a. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = \phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right) \quad (5)$$

b. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (6)$$

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

c. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)} \quad (8)$$

3. Distribusi Lognormal

Dibawah ini adalah gambar fungsi lognormal (E. Ebeling, 1997)

a. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad (9)$$

b. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F \quad (10)$$

c. Fungsi Laju Kerusakan

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)} \quad (11)$$

Keandalan sistem sering dinyatakan sebagai angka yang menunjukkan harapan masa pakai suatu sistem atau alat, ditunjukkan dengan huruf E[T], digunakan hanya untuk komponen atau alat yang sering rusak dan harus diganti dengan yang baru atau baik (Pranowo, 2009). Mean time adalah rata-rata waktu ekspektasi terjadinya kerusakan dari unit-unit identik yang beroperasi pada kondisi normal (Wahjudi & Amelia, 2000). Berikut ini merupakan perhitungan MTTF masing-masing distribusi sebagai berikut :

a. Distribusi *Weibull*

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (12)$$

Nilai $\theta \cdot \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$ dapat dilihat pada tabel dari fungsi Gamma.

b. Distribusi Lognormal

$$MTTF = tmed. e^{\frac{s^2}{2}} \quad (13)$$

Menurut Pranowo, (2009) *Mean Time To Repair* (MTTR) Adalah rata-rata waktu untuk dilakukan perbaikan atau pemeliharaan komponen, didasarkan atas lamanya perbaikan atau penggantian komponen yang mengalami kerusakan. Berikut merupakan perhitungan MTTR untuk tiap distribusi dinyatakan sebagai berikut :

a. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \quad (14)$$

b. Distribusi Lognormal

$$MTTR = tmed. e^{\frac{s^2}{2}} \quad (15)$$

Dalam model *Age Replacement*, penggantian preventif dilakukan sesuai dengan masa pakai suku cadang. Tujuan dari model ini adalah untuk menentukan usia optimal dimana penggantian preventif harus dilakukan untuk meminimalkan *downtime* total (Jardine & Tsang, 2013) Rumus perhitungan model *Age replacement* adalah sebagai berikut :

$$D(tp) = \frac{Tp.R(tp)+Tf\{1-R(tp)\}}{(tp+Tp)R(tp)+\{M(tp)+Tf\}\{1-R(tp)\}} \quad (16)$$

Keterangan

D(tp) : Total *downtime* unit waktu untuk penggantian preventif

tp : Panjang dari siklus (interval waktu) preventif

Tp : *Downtime* karena tindakan preventif

Tf : *Downtime* karena kerusakan komponen

R(tp) : peluang dari siklus preventif (pencegahan)

M(tp) : Nilai harapan panjang siklus kerusakan (kegagalan)

$$M(tp) = \frac{MTTF}{1-R(tp)} \quad (17)$$

Tindakan pemeriksaan sangat dibutuhkan untuk menekan laju kerusakan, menjaga performansi mesin dan meminimasi *downtime* yang terjadi akibat kerusakan dari komponen yang terjadi secara tiba-tiba yang dapat mengakibatkan pembengkakan biaya. Model untuk interval waktu pemeriksaan optimal tersebut dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut:

$$N = \sqrt{\frac{k.i}{\mu}} \quad (18)$$

Dimana :

$$K = \frac{\text{frekuensi jumlah kerusakan}}{\text{periode terjadinya kerusakan}} \quad (19)$$

$$Tf = \frac{1}{\mu}; Ti = \frac{1}{i} \quad (20)$$

Menurut Wahjudi & Amelia, (2000) suatu peralatan atau mesin dapat dikatakan andal apabila peralatan atau mesin tersebut dapat berfungsi secara optimal. Keandalan juga berarti tingkat peluang atau probabilitas suatu piranti menjalankan tugasnya. Nilai keandalan berkisar antara 0 dan 1, karena merupakan fungsi probabilitas. Fungsi keandalan dapat dinotasikan $R(t) = P$ (peralatan beroperasi pada saat t). rumus keandalan

menurut E. Ebeling, (1997) pada saat t untuk tiap-tiap distribusi setelah adanya perawatan *preventive* adalah sebagai berikut :

- a. Distribusi Weibull

$$R(t - nT) = e \left[\left(-\frac{t-nT}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (21)$$

- b. Distribusi Lognormal

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{(t-nT)}{tmed} \right) \quad (22)$$

Availability didefinisikan sebagai kemungkinan bahwa suatu komponen atau perangkat dapat melakukan fungsi yang dimaksudkan pada titik waktu tertentu atau dalam jangka waktu tertentu jika digunakan dan dipelihara dengan cara tertentu (E. Ebeling, 1997) Berikut adalah persamaan *availability* :

Langkah-langkah dalam perhitungan *availability* berdasarkan (Walpole, 1986) sebagai berikut:

1. *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan:

$$A(n) = 1 - D(n) \quad (23)$$

$$D(n) = \frac{k}{\mu.n} + \frac{1}{i} \quad (24)$$

2. *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan

$$A(tp) = 1(\min D(tp)) \quad (25)$$

Dimana $D(tp)$ merupakan total *downtime* persiklus.

3. *Availability total*:

$$Availability = A(n) \times A(tp) \quad (26)$$

Penjadwalan pemeliharaan adalah proses penugasan sumber daya dan tenaga kerja untuk pekerjaan yang harus diselesaikan pada waktu tertentu. Hal ini diperlukan untuk memastikan bahwa tenaga kerja yang dibutuhkan, suku cadang, dan bahan yang diperlukan tersedia sebelum tugas pemeliharaan dapat dijadwalkan. Peralatan kritis di pabrik, adalah peralatan yang kegagalannya akan menghentikan proses produksi atau membahayakan nyawa dan keselamatan manusia. Pekerjaan pemeliharaan yang berkaitan dengan peralatan tersebut diperlakukan berdasarkan prioritas dan dilakukan sebelum pekerjaan lain dilakukan. Kejadian pekerjaan seperti itu tidak dapat diprediksi dengan pasti, dan dengan demikian, jadwal pemeliharaan yang direncanakan dalam hal ini harus direvisi (Duffuaa & Raouf, 2015).

Perhitungan Biaya Menurut Kurniawan, (2013) Biaya pemeliharaan merupakan biaya operasi yang sedang berjalan, terdiri dari biaya pemeliharaan bahan baku, biaya tenaga kerja pemeliharaan dan biaya subkontrak. Biaya pemeliharaan juga dapat diartikan sebagai pengeluaran yang dikeluarkan dalam memelihara dan merawat peralatan agar pekerjaan dapat berjalan normal.

- 1) Perhitungan Total Biaya Pemeliharaan

Keterkaitan antara pemeliharaan preventif, biaya perbaikan kerusakan dan probabilitas interval pemeliharaan per satuan waktu dapat dirumuskan sebagai berikut. (Pranowo, 2009):

$$Tc(tp) = \frac{(Cp \times R(tp)) + (Cf \times F(tp))}{R(tp) + (M(tp) \times F(tp))} \quad (27)$$

Keterangan :

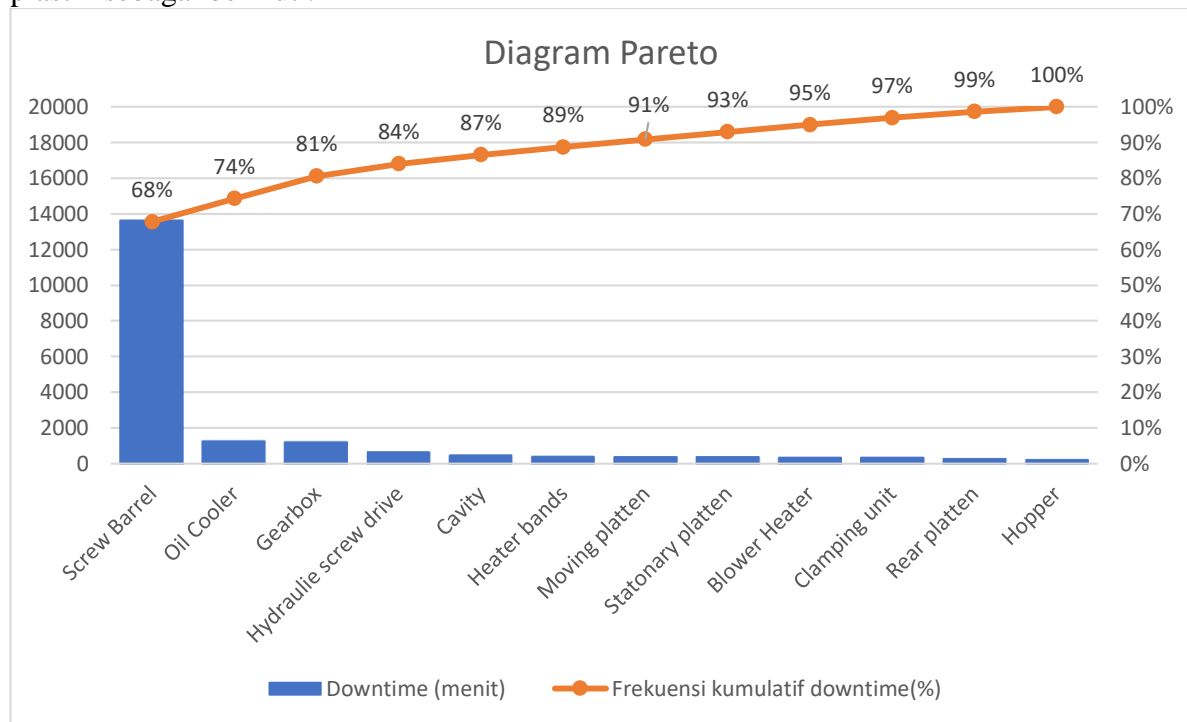
- Cp = Biaya Pemeliharaan Pencegahan
 Cf = Biaya Perbaikan Kerusakan

- R(tp) = Probabilitas terjadinya siklus pertama
- tp = Interval waktu
- F(t) = Fungsi padat probabilitas
- Tc(tp) = Nilai biaya pemeliharaan persatuan waktu

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Komponen Kritis

Berikut merupakan diagram pareto pada mesin *injection* molding plastik dalam penentuan mesin kritis yang diperoleh dari adanya data *downtime* mesin *injection* molding plastik sebagai berikut :



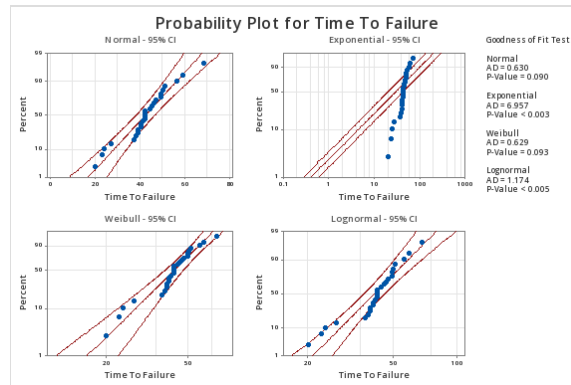
Gambar 1. Diagram *Pareto* Komponen Kritis Mesin

Berdasarkan diagram *pareto* diatas, komponen kritis pada mesin *injection* molding plastik berdasarkan prinsip *pareto* 80:20 antara lain *Screw Barrel* dan *Oil Cooler*.

Penentuan Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (*Time to Failure*)

- a. Komponen *Screw Barrel*

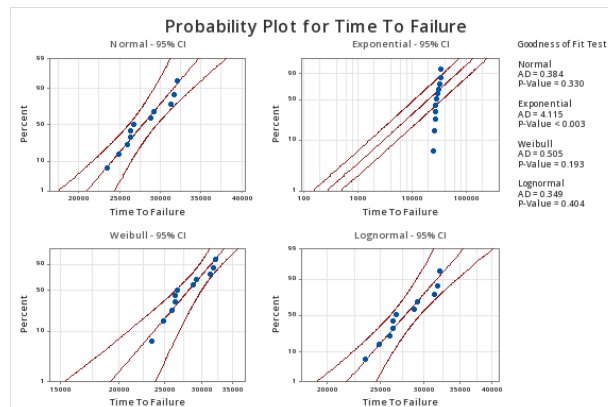
Ada 4 distribusi untuk menghitung waktu kerusakan yaitu distribusi *Eksponensial*, *Normal*, *Lognormal* dan *Weibull*.



Gambar 2. Grafik Plot Probabilitas Time To Failure Komponen *Screw Barrel* Setelah dilakukan tes uji distribusi dengan bantuan *software minitab*, didapatkan nilai *P-Value* terbesar yaitu distribusi *weibull*.

b. Komponen *Oil Cooler*

Ada 4 distribusi untuk menghitung waktu kerusakan yaitu distribusi *Eksponensial*, *Normal*, *Lognormal* dan *Weibull*

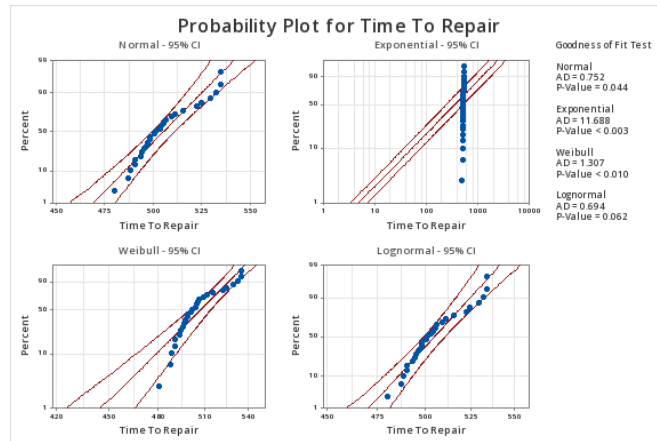


Gambar 3. Grafik Plot Probabilitas Time To Failure Komponen *Oil Cooler* Setelah dilakukan tes uji distribusi dengan bantuan *software minitab*, didapatkan nilai *P-Value* terbesar yaitu distribusi *lognormal*.

Penentuan Distribusi Data Waktu Antar Perbaikan (Time to Repair)

a. Komponen *Screw Barrel*

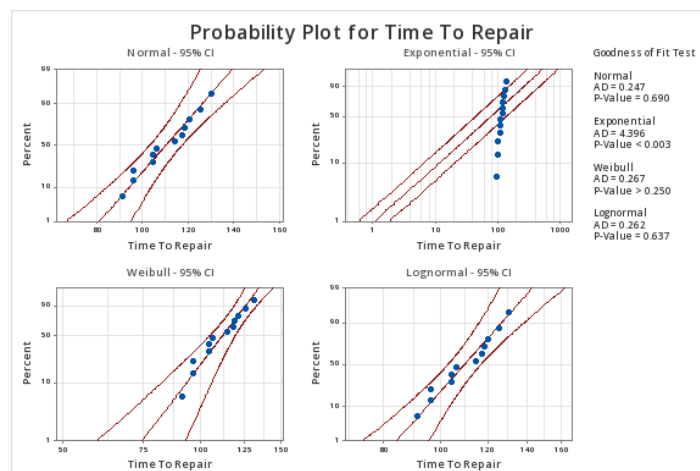
Ada 4 distribusi untuk menghitung waktu kerusakan yaitu distribusi *Eksponensial*, *Normal*, *Lognormal* dan *Weibull*.



Gambar 4. Grafik Plot Probabilitas *Time To Repair* Komponen *Screw Barrel* Setelah dilakukan tes uji distribusi dengan bantuan *software minitab*, didapatkan nilai *P-Value* terbesar yaitu distribusi lognormal.

b. Komponen *Oil Cooler*

Ada 4 distribusi untuk menghitung waktu perbaikan yaitu distribusi *Eksponensial*, *Normal*, *Log Normal* dan *Weibull*.



Gambar 5. Grafik Plot Probabilitas *Time To Repair* Komponen *Oil Cooler* Setelah dilakukan tes uji distribusi dengan bantuan *software minitab*, didapatkan nilai *index of fit* terbesar yaitu distribusi *normal*.

Perhitungan *Goodness of Fit* Waktu Antar Kerusakan (*Time to Failure*)

a. Komponen *Screw Barrel*

Dari uji sebelumnya didapatkan nilai *p-value* terbesar pada distribusi *weibull*, maka selanjutnya melakukan uji *Mann's test*. Hipotesa yang diujikan yaitu :

H_0 : Data waktu antar kerusakan berdistribusi *weibull*.

H_1 : Data waktu antar kerusakan tidak berdistribusi *weibull*.

H_0 diterima apabila $M_{hitung} < F_{crit}$ maka H_0 diterima. Nilai F_{crit} diperoleh dari tabel distribusi F dengan $\alpha = 0,05$

Jadi, Keputusan $M < F_{crit} = 1,040 < 2,66$, maka data berdistribusi *weibull*.

b. Komponen *Oil Cooler*

Dari uji sebelumnya didapatkan nilai p -value terbesar pada distribusi lognormal, maka selanjutnya melakukan uji *kolmogrov-smirnov*. Hipotesa yang diujikan yaitu :

H_0 : Data waktu antar kerusakan berdistribusi lognormal.

H_1 : Data waktu antar kerusakan tidak berdistribusi lognormal.

$\alpha = 0,05$

H_0 diterima apabila $D_n < D_{crit}$ maka H_0 diterima.

$D_n = \max (D_1, D_2)$

Jadi Keputusan data berdistribusi lognormal

Perhitungan *Goodness of Fit* Waktu Antar Perbaikan Komponen (*Time to Repair*)

a. Komponen *Screw Barrel*

Dari uji sebelumnya didapatkan nilai p -value terbesar pada distribusi lognormal, maka selanjutnya melakukan uji *kolmogrov-smirnov*. Hipotesa yang diujikan yaitu :

H_0 : Data waktu antar kerusakan berdistribusi lognormal.

H_1 : Data waktu antar kerusakan tidak berdistribusi lognormal.

$\alpha = 0,05$

H_0 diterima apabila $D_n < D_{crit}$ maka H_0 diterima.

$D_n = \max (D_1, D_2)$

Jadi, Keputusan $D_{max} < D_{crit} = 0,135 < 0,254$, maka data berdistribusi lognormal.

b. Komponen *Oil Cooler*

Dari uji sebelumnya didapatkan nilai p -value terbesar pada distribusi normal, maka selanjutnya melakukan uji *kolmogrov-smirnov*. Hipotesa yang diujikan yaitu :

H_0 : Data waktu antar kerusakan berdistribusi normal.

H_1 : Data waktu antar kerusakan tidak berdistribusi normal.

$\alpha = 0,05$

H_0 diterima apabila $D_n < D_{crit}$ maka H_0 diterima.

$D_n = \max (D_1, D_2)$

Jadi, Keputusan $D_{max} < D_{crit} = 0,129 < 0,375$, maka data berdistribusi normal.

Parameter *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR)

Tabel 1. Rekapitulasi Nilai Paramater Komponen Screw Barrel

Komponen <i>Screw Barrel</i> (TTF)				Komponen <i>Screw Barrel</i> (TTR)			
Distribution	Location	Shape	Scale	Distribution	Location	Shape	Scale
Normal	60923,0769		15556,102	Normal*	505		15,35728
Exponential			60923,0769	Exponential			505
Weibull		4,40649	66713,6657	Weibull		32,65684	512,67929
Lognormal	10,98172		0,28403	Lognormal*	6,22412		0,03016

Tabel 2. Rekapitulasi Nilai Paramater Komponen Oil Cooler

Komponen <i>Oil Cooler</i> (TTF)				Komponen <i>Oil Cooler</i> (TTR)			
Distribution	Location	Shape	Scale	Distribution	Location	Shape	Scale
Normal*	1,11E+05		11721,1529	Normal*	110,08333		12,41303
Exponential			1,11E+05	Exponential			110,08333
Weibull		1.098.273	1,17E+05	Weibull		10,4621	115,44332
Lognormal*	11,6159		0.10500	Lognormal*	4,69535		0,1137

Perhitungan Nilai Tengah dari Distribusi Data Antar Waktu Antar Kerusakan (*Mean Time to Failure*)

Menghitung nilai MTTF komponen *screw barrel* dan komponen *oil cooler* yang sesuai dengan distribusi yang terpilih terhadap data *time to failure* sebagai berikut :

1. Komponen *Screw Barrel* (Weibull)

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \theta \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\
 &= 66713,66572 \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{4,40649}\right) \\
 &= 66713,66572 \times \Gamma(1,2269) \\
 &= 66713,66572 \times 0,91146 \\
 &= 60806,984 \text{ menit} \\
 &= 42,227 \text{ hari} = 43 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

2. Komponen *Oil Cooler* (lognormal)

$$\begin{aligned}
 MTTF &= t_{med} \times e^{\frac{s^2}{2}} \\
 &= 106560 \times \left(\exp^{\frac{0,105^2}{2}}\right) \\
 &= 106560 \times \left(\exp^{\frac{0,011}{2}}\right) \\
 &= 106560 \times (1,00552) \\
 &= 107149,062 \text{ menit} \\
 &= 74,409 \text{ hari} = 75 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Nilai Tengah dari Distribusi Data Antar Waktu Antar Perbaikan (*Mean Time to Repair*)

Menghitung nilai MTTR komponen *screw barrel* dan komponen *oil cooler* yang sesuai dengan distribusi yang terpilih terhadap data *time to failure* sebagai berikut :

1. Komponen *Screw Barrel* (Lognormal)

$$\begin{aligned}
 MTTR &= 501 \times e^{\frac{s^2}{2}} \\
 &= 501 \times \left(\exp^{\frac{0,30159^2}{2}} \right) \\
 &= 501 \times (\exp^{0,0045}) \\
 &= 501 \times (1,00045) \\
 &= 501,227898 \text{ menit} \\
 &= 8,353 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

2. Komponen *Oil Cooler* (normal)

$$\begin{aligned}
 MTTR &= \mu \\
 &= 110.08333 \text{ menit} = 1,834 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan dengan Minimasi Downtime

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime* menggunakan metode *Age Replacement* yang dimana nilai interval waktu antar kerusakan (tp) dimana yang terpilih yaitu yang memiliki nilai *downtime* terkecil. Dibawah ini merupakan data – data yang dibutuhkan untuk mencari interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime* sebagai berikut :

1. Komponen *Screw Barrel*

1) Data waktu kerusakan berdistribusi *Weibull*

$$\begin{aligned}
 MTTF &= 60806,984 \\
 Tmed &= 60480 \\
 S &= 0,30159
 \end{aligned}$$

2) Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

$$Tf = 501,227$$

3) Waktu untuk melakukan penggantian *preventive*

$$Tp = 501,227$$

Dibawah ini merupakan data – data untuk perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime* sebagai berikut :

Tabel 3. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Dengan Minimasi Downtime Komponen *Screw Barrel*

Tp	F(tp)	R(tp)	tp+Tf	M(tp)	D(tp)
1	0	1	502,227898	#DIV/0!	#DIV/0!
1000	9,173E-09	0,99999999	1501,2279	6,62894E+12	0,00804433
10000	0,00023359	0,99976641	10501,2279	260312246,4	0,00702926
20000	0,00494052	0,99505948	20501,2279	12307808,94	0,00617204
30000	0,02912747	0,97087253	30501,2279	2087616,421	0,00554245
40000	0,09967474	0,90032526	40501,2279	610054,0988	0,00515024
41000	0,11047459	0,88952541	41501,2279	550416,0038	0,00512614
42000	0,12206306	0,87793694	42501,2279	498160,4142	0,00510511
43000	0,13445981	0,86554019	43501,2279	452231,6733	0,00508724
44000	0,14768116	0,85231884	44501,2279	411745,0373	0,00507263
45000	0,16173965	0,83826035	45501,2279	375955,9558	0,00506138
46000	0,17664361	0,82335639	46501,2279	344235,4007	0,00505359
47000	0,19239675	0,80760325	47501,2279	316049,9536	0,00504936

48000	0,20899774	0,79100226	48501,2279	290945,6556	0,00504882
49000	0,22643982	0,77356018	49501,2279	268534,8502	0,00505206
50000	0,24471047	0,75528953	50501,2279	248485,4157	0,00505919
60806	0,4855343	0,5144657	61307,2279	125237,2568	0,00541337
61000	0,49034441	0,50965559	61501,2279	124008,7227	0,00542471
62000	0,51523031	0,48476969	62501,2279	118019,0342	0,00548606
63000	0,54020275	0,45979725	63501,2279	112563,2627	0,00555221
64000	0,56516814	0,43483186	64501,2279	107590,9615	0,00562309
		Min D(tp)			0,00504882

Berikut ini adalah contoh perhitungan interval waktu penggantian pencegahan pada komponen *screw barrel* dengan distribusi *weibull* untuk $t_p = 501,227$ menit sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{a. } R(t_p) &= e \left[\left(-\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \\
 &= e \left[\left(-\frac{48000}{66713,665} \right)^{4,406} \right] \\
 &= e [-0,23455] \\
 &= 0,791 \\
 \text{b. } F(t_p) &= 1 - R(t_p) \\
 &= 1 - 0,791 \\
 &= 0,208 \\
 \text{c. } t_p + T_p &= 48000 + 501,227 \\
 &= 48501,227 \\
 \text{d. } M(t_p) &= \frac{MTTF}{1 - R(t_p)} \\
 &= \frac{60806,984}{0,208} \\
 &= 290945,6556 \\
 \text{e. } D(t_p) &= \frac{T_p \cdot R(t_p) + T_f \cdot \{1 - R(t_p)\}}{(t_p + T_p)R(t_p) + \{M(t_p) + T_f\}\{1 - R(t_p)\}} \\
 &= \frac{(501,227 \cdot 0,791) + (501,227 \cdot 0,208)}{(48501,227) \cdot 0,791 + (290945,655 + 501,227) \cdot 0,208} \\
 &= \frac{501,22798}{99276,3205} \\
 &= 0,00504882
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapat nilai $D(t_p)$ yang paling minimum adalah pada $t_p = 48.000$ menit. Bahwa waktu interval penggantian komponen *Screw Barrel* dengan kriteria minimasi *downtime* pada menit ke 48.000 menit.

2. Komponen *Oil Cooler*

1) Data waktu kerusakan berdistribusi Lognormal

$$MTTF = 107149,062$$

$$T_{med} = 106560$$

$$Shape = 0,105$$

2) Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

$$T_f = 110,083$$

3) Waktu untuk melakukan penggantian *preventive*

$$T_p = 110,083$$

Dibawah ini merupakan data – data untuk perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime* sebagai berikut :

Tabel 4. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Dengan Minimasi Downtime Komponen Oil Cooler

Tp	F(tp)	R(tp)	tp+Tp	M(tp)	D(tp)
1	0	1	111,083	#DIV/0!	#DIV/0!
1000	0	1	1110,083	#DIV/0!	#DIV/0!
65000	1,2519E-06	0,99999875	65110,083	85588488502	0,00063905
70000	3,1401E-05	0,9999686	70110,083	3412292607	0,00062104
80000	0,00316383	0,99683617	80110,083	33866892,85	0,00058866
81000	0,00450083	0,99549917	81110,083	23806503,48	0,00058588
82000	0,0062955	0,9937045	82110,083	17019952,11	0,00058324
83000	0,00866357	0,99133643	83110,083	12367771,61	0,00058079
84000	0,01173695	0,98826305	84110,083	9129209,855	0,00057855
85000	0,01566235	0,98433765	85110,083	6841185,893	0,00057657
86000	0,02059896	0,97940104	86110,083	5201672,284	0,00057488
87000	0,02671499	0,97328501	87110,083	4010822,393	0,00057354
88000	0,03418316	0,96581684	88110,083	3134557,124	0,0005726
89000	0,04317537	0,95682463	89110,083	2481717	0,00057211
90000	0,05385657	0,94614343	90110,083	1989526,369	0,00057212
100000	0,2725483	0,7274517	100110,083	393137,8816	0,00061156
107149	0,52093365	0,47906635	107259,083	205686,5833	0,00069413
111000	0,65128088	0,34871912	111110,083	164520,508	0,00075416
112000	0,68232021	0,31767979	112110,083	157036,3295	0,00077068
113000	0,71186913	0,28813087	113110,083	150517,922	0,00078733
114000	0,73981144	0,26018856	114110,083	144832,934	0,00080399
115000	0,76606287	0,23393713	115110,083	139869,8021	0,00082052
		Min D(tp)			0,00057211

Berikut ini adalah contoh perhitungan interval waktu penggantian pencegahan pada komponen *oil cooler* dengan distribusi Lognormal untuk $tp = 110,833$ menit sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{a. } F(tp) &= \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \\
 &= \Phi\left(\frac{1}{0,105} \ln \frac{89000}{106560}\right) \\
 &= \Phi(-1,71496) \\
 &= 0,0431 \\
 \text{b. } R(tp) &= 1 - F(tp) \\
 &= 1 - 0,0431 \\
 &= 0,956 \\
 \text{c. } tp+Tp &= 89000 + 110,083 \\
 &= 89110,083 \\
 \text{d. } M(tp) &= \frac{MTTF}{1-R(tp)} \\
 &= \frac{107149,062}{0,431} \\
 &= 2481717 \\
 \text{e. } D(tp) &= \frac{Tp.R(tp)+Tf\{1-R(tp)\}}{(tp+Tp)R(tp)+\{M(tp)+Tf\}\{1-R(tp)\}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(110,083.0,956)+(110,083.0,0431)}{(89110,083).0,956+(2481717+110,083).0,0431} \\
 &= \frac{110,083}{192416,537} \\
 &= 0,00057211
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapat nilai $D(tp)$ yang paling minimum adalah pada $tp = 89.000$ menit. Bahwa waktu interval penggantian komponen *oil cooler* dengan kriteria minimasi *downtime* pada menit ke 89.000 menit.

Perhitungan Waktu Interval Pemeriksaan

Berikut ini adalah perhitungan interval waktu pemeriksaan pada komponen *Screw Barrel* :

1. Waktu yang dibutuhkan perusahaan untuk pemeriksaan *screw barrel* adalah 1 jam
2. Jumlah pemeriksaan (k)
 - a. 1 Bulan = 26 hari kerja; 1 hari 12 jam kerja
 Senin – jumat = 16 jam
 Sabtu = 8 jam
 - b. $t = 20 \text{ hari/bulan} \times 16 \text{ jam/hari} = 320 \text{ jam/bulan}$
 $t = 4 \text{ hari/bulan} \times 8 \text{ jam/hari} = 32 \text{ jam/bulan}$
 $t = 352 \text{ jam/bulan}$
 - c. Jumlah kerusakan komponen *oil cooler* selama 3 tahun = 12 kali
 - d. $K = \frac{27}{36} = 0,75$
3. Waktu rata – rata yang dibutuhkan untuk perbaikan
 - a. MTTR = 501,227 menit = 8,35 jam
 - b. $t = 352 \text{ jam/bulan}$
 - c. $1/u = \text{MTTR}/t$
 $1/u = 8,35/352$
 $1/u = 0,02373$
 $u = 42,13659$
4. Waktu rata – rata melakukan pemeriksaan
 - a. Waktu untuk melakukan pemeriksaan (t_i) = 1 jam
 - b. $t = 352 \text{ jam/bulan}$
 - c. $1/i = t_i/t = 1/352$
 $= 0,00284091$
5. Perhitungan frekuensi pemeriksaan

$$N = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}}$$

$$N = \sqrt{\frac{0,75 \times 352}{42,13659}}$$

$$N = 2,503 \text{ kali pemeriksaan per bulan}$$

6. Interval waktu pemeriksaan

Interval pemeriksaan = t/n
 $= 352/2,503$
 $= 140,62 \text{ jam}$
 $= 5,859$
 $= 6 \text{ hari}$

Berikut ini adalah perhitungan interval waktu pemeriksaan pada komponen *oil cooler* :

1. Waktu yang dibutuhkan perusahaan untuk pemeriksaan *chain* adalah 1 jam
2. Jumlah pemeriksaan (k)
 - a. 1 Bulan = 26 hari kerja; 1 hari 12 jam kerja
 Senin – jumat = 16 jam
 Sabtu = 8 jam
 - b. $t = 20 \text{ hari/bulan} \times 12 \text{ jam/hari} = 320 \text{ jam/bulan}$
 $t = 4 \text{ hari/bulan} \times 8 \text{ jam/hari} = 32 \text{ jam/bulan}$
 $t = 352 \text{ jam/bulan}$
 - c. Jumlah kerusakan komponen *oil cooler* selama 3 tahun = 12 kali
 - d. $K = \frac{12}{36} = 0,33$
3. Waktu rata – rata yang dibutuhkan untuk perbaikan
 - a. MTTR = 110.833 menit = 1,84 jam
 - b. $t = 352 \text{ jam/bulan}$
 - c. $1/u = \text{MTTR}/t$
 $1/u = 1,84/352$
 $1/u = 0,00523$
 $u = 191,30435$
4. Waktu rata – rata melakukan pemeriksaan
 - a. Waktu untuk melakukan pemeriksaan (t_i) = 1 jam
 - b. $t = 352 \text{ jam/bulan}$
 - c. $1/i = t_i/t = 1/352$
 $= 0,0028409$
5. Perhitungan frekuensi pemeriksaan

$$N = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}}$$

$$N = \sqrt{\frac{0,33 \times 352}{191,30435}}$$

$$N = 0,779 \text{ kali pemeriksaan per bulan}$$
6. Interval waktu pemeriksaan
 Interval pemeriksaan = t/n
 $= 352/0,779$
 $= 451,727 \text{ jam}$
 $= 18,821 \text{ hari}$
 $= 19 \text{ hari}$

Perhitungan *Reliability* Sebelum Dan Sesudah Interval Penentuan Waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Dibawah ini merupakan perhitungan nilai *Reliability* berdasarkan distribusi *weibull* untuk komponen *screw barrel* dan distribusi lognormal untuk komponen *oil cooler* sesuai dengan *Failure Time* sebagai berikut :(n=1)

1. Komponen *Screw Barrel*
 - a. $R(t_p) = e \left[\left(-\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right]$

$$\begin{aligned}
 R(49000) &= e \left[\left(-\frac{49000}{66713,665} \right)^{4,406} \right] \\
 &= e [-0,2567518] \\
 &= 0,773560 \\
 \text{b. } R(t-nT) &= e \left[\left(-\frac{t-nT}{\theta} \right)^{\beta} \right] \\
 R(t-n(49000)) &= e \left[\left(-\frac{49000-48000}{66713,665} \right)^{4,406} \right] \\
 &= e [-0,00000000917] \\
 &= 0,999
 \end{aligned}$$

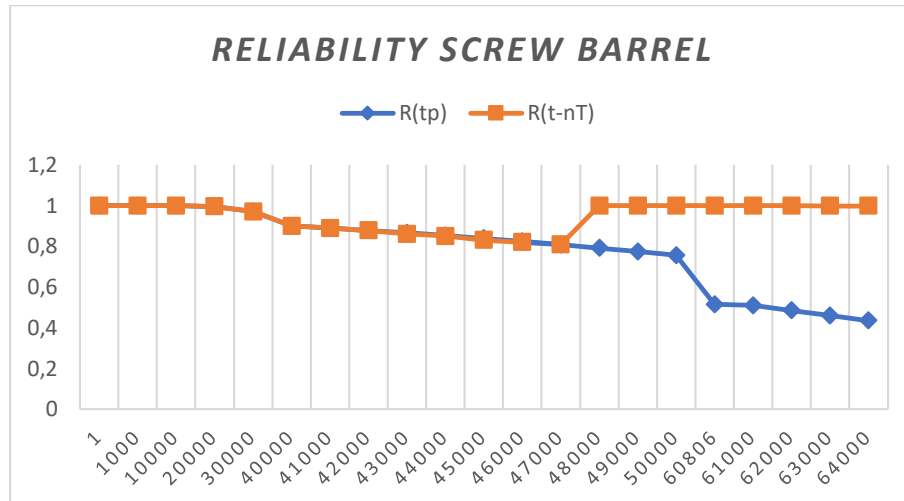
2. Komponen *Oil Cooler*

$$\begin{aligned}
 1) R(tp) &= 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \\
 R(100000) &= 1 - \Phi \left(\frac{1}{0,105} \ln \frac{100000}{106560} \right) \\
 &= 1 - \Phi(-1,608) \\
 &= 1 - 0,053 \\
 &= 0,727 \\
 2) R(t-n(89000)) &= 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t-nT}{t_{med}} \right) \\
 &= 1 - \Phi \left(\frac{1}{0,105} \ln \frac{100000-89000}{106560} \right) \\
 &= 1 - \Phi(-21,626) \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

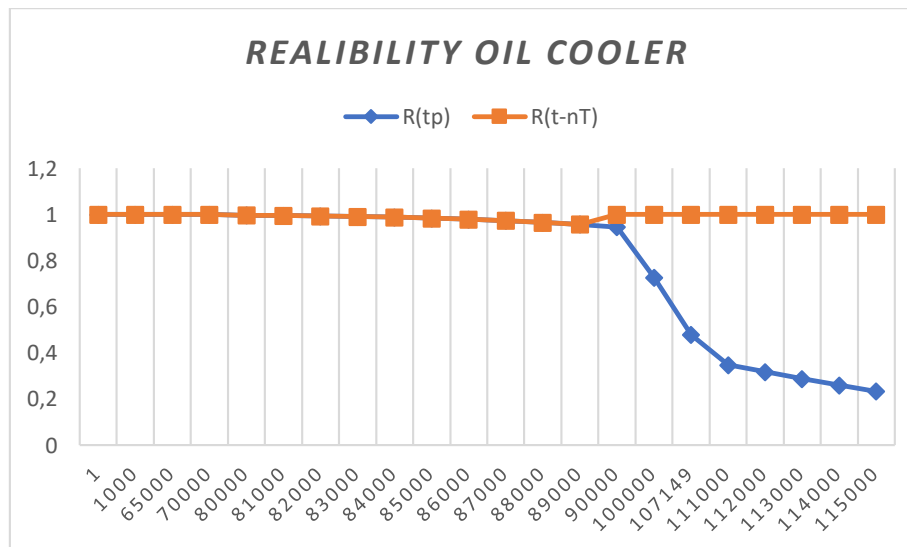
Tabel 5. Perbandingan Nilai Realibility Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Penggantian Pencegahan Komponen

No	Komponen	Distribusi	n	T(menit)	Sekarang	Usulan
1	<i>Screw Barrel</i>	Weibull	1	49.000	0,77356	0,999
2	<i>Oil Cooler</i>	Lognormal	1	100.000	0,72745	1

Berdasarkan perhitungan diatas, Maka diperoleh nilai *realibility* sebelum dan sesudah untuk masing – masing komponen. Pada tingkat keandalan 49.000 menit komponen *screw barrel* sebelum dilakukan penggantian pencegahan sebesar 0,77356 dan setelah dilakukan penggantian pencegahan sebesar 0,999. Demikian juga dengan komponen *oil cooler* pada tingkat keandalan 100.000 menit sebelum dilakukan penggantian pencegahan sebesar 0,72745 dan setelah dilakukan penggantian pencegahan sebesar 1.



Gambar 6. Reliability Sebelum dan Sesudah Screw Barrel



Gambar 7. Reliability Sebelum dan Sesudah Oil Cooler

Perhitungan Availability

Perhitungan *avaibility* ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keandalan setelah dilakukan perawatan yang bersifat *preventive*. Dibawah ini yaitu langkah – langkah dalam perhitungan *avaibility* dua kejadian dengan adanya kejadian *avaibility* berdasarkan frekuensi pemeriksaan dan *avaibility* berdasarkan interval penggantian pencegahan sebagai berikut :

1. Komponen *Screw Barrel*

1) *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan :

$$\begin{aligned}
 D(n) &= \frac{k}{\mu \cdot n} + \frac{1}{i} \\
 &= \frac{0,75}{32,560} + \frac{1}{272} \\
 &= 0,0267108
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A(n) &= 1 - D(n) \\
 &= 1 - 0,0267108 \\
 &= 0,9732892
 \end{aligned}$$

2) *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan :

$$\begin{aligned}
 A(tp) &= 1 - [\min D(tp)] \\
 &= 1 - 0,0050488 \\
 &= 0,9949512
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \text{ Availability total :} \\
 \text{Availability} &= A(n) * A(tp) \\
 &= 0,9732892 * 0,9949512 \\
 &= 0,96837524
 \end{aligned}$$

2. Komponen *Oil Cooler*

1) *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan :

$$\begin{aligned}
 D(n) &= \frac{k}{\mu \cdot n} + \frac{1}{i} \\
 &= \frac{0,33}{147,82609} + \frac{1}{272} \\
 &= 0,00590882
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A(n) &= 1 - D(n) \\
 &= 1 - 0,00590882 \\
 &= 0,99409118
 \end{aligned}$$

2) *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan :

$$\begin{aligned}
 A(tp) &= 1 - [\min D(tp)] \\
 &= 1 - 0,00057211 \\
 &= 0,99942789
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \text{ Availability total :} \\
 \text{Availability} &= A(n) * A(tp) \\
 &= 0,99409118 * 0,99942789 \\
 &= 0,9948646
 \end{aligned}$$

Tabel 6. Rekapitulasi Nilai Availability Komponen Setelah Dilakukan Preventive Maintenance

No	Komponen	D(n)	A(n)	A(tp)	A(total)
1	Screw Barrel	0,9732892	0,9949512	0,9949512	0,96837524
2	Oil Cooler	0,00590882	0,99409118	0,99942789	0,9948646

Penjadwalan Perawatan Komponen Kritis

Perhitungan Biaya *Corrective* dan *Preventive Maintenance*

1) Perhitungan Biaya Tenaga Kerja

Perusahaan mempekerjakan 2 karyawan sebagai teknisi mesin dengan gaji Rp 1.450.000,- /bulan dengan lama shift 352 jam selama satu bulan. Sehingga biaya tenaga kerja teknisi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya Tenaga Kerja} &= \frac{1.450.000 * 2}{352} \\
 &= \frac{2.900.000}{352} \\
 &= \text{Rp } 8.239/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 7. Tabel Biaya Tenaga Kerja

Biaya Tenaga Kerja	Banyaknya (n)	Biaya/bln	Biaya/jam
IDR 1.450.000	2	IDR 2.900.000	IDR 8.239

2) Perhitungan Biaya Kerugian Produksi

Biaya kehilangan produksi adalah biaya yang muncul akibat berhentinya suatu mesin produksi dikarenakan mengalami kerusakan dan perlu adanya penanganan seperti perawatan atau perbaikan pada waktu produksi sehingga menghambat atau bahkan menghentikan suatu proses produksi. Berikut adalah perhitungan bahan baku produksi alas sandal dengan kapasitas produksi sebanyak 1818 seri/hari :

Tabel 8. Harga Bahan Baku Alas Sandal

No	Nama Bahan Baku	Harga/kg
1	But PVC	IDR 7.300
2	Blowing	IDR 52.000
3	Dop	IDR 22.000

Setelah mengetahui harga bahan baku alas sandal/kg maka selanjutnya menghitung kebutuhan dan biaya bahan baku untuk memenuhi kapasitas produksi/hari.

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Kebutuhan But PVC} &= \frac{1000}{450} = 2,2 \text{ seri} \\
 &= 2,2 \times 1818 = 818,1 \text{ kg} \\
 &= 818,1 \text{ kg} \times 7300 = \text{Rp } 5.972.130 \\
 &= \frac{5.972.130}{1818} = \text{Rp } 3.285
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Kebutuhan Blowing} &= \frac{1000}{9} = 111,1 \text{ seri} \\
 &= 111,1 \times 1818 = 16,362 \text{ kg} \\
 &= 16,362 \text{ kg} \times 52000 = \text{Rp } 850.824 \\
 &= \frac{850.824}{1818} = \text{Rp } 468
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \text{ Kebutuhan Dop} &= \frac{1000}{9} = 111,1 \text{ seri} \\
 &= 111,1 \times 1818 = 16,362 \text{ kg} \\
 &= 16,362 \text{ kg} \times 22000 = \text{Rp } 359.964 \\
 &= \frac{359.964}{1818} = \text{Rp } 198
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan total biaya produksi alas sandal yaitu sebesar Rp 3.285 + Rp 468 + Rp 198 = Rp 3.951/Seri

Tabel 9. Kebutuhan Biaya Produksi Alas Sandal/Seri

No	Nama	Kapasitas Seri/hari	Berat/ Seri(g)	Kebutuhan \kg (seri)	Kebutuhan /hari (kg)	Harga/Hari	Biaya/Seri	
1	But PVC		450	2,2	818,1	IDR 5.972.130	IDR 3.285	
2	Blowing	1818	9	111,1	16,362	IDR 850.824	IDR 468	
3	Dop		9	111,1	16,362	IDR 359.964	IDR 198	
Total Biaya Produksi/Seri							IDR	3.951

3) Perhitungan Biaya Penggantian Komponen

Biaya Komponen yang akan dihitung adalah biaya *corrective maintenance*, yaitu biaya untuk penggantian komponen setelah mesin mengalami kerusakan, dan biaya *preventive maintenance*, adalah biaya penggantian yang dibutuhkan sebelum komponen mesin mengalami kerusakan.

Berikut adalah perhitungan biaya *corrective maintenance* :

1. Komponen *Screw Barrel*

$$\begin{aligned} T_f &= 540 \text{ menit} = 9 \text{ jam} \\ C_f &= (8.239+530.556) \times 9 + 10.500.000 \\ &= \text{Rp } 15.349.156 \\ K_f &= \frac{27}{36} = 0,75 \\ T_c &= 15.349.156 \times 0,75 \\ &= \text{Rp } 11.511.867 \end{aligned}$$

2. Komponen *Oil Cooler*

$$\begin{aligned} T_f &= 150 \text{ menit} = 2,5 \text{ jam} \\ C_f &= (8.239+530.556) \times 2,5 + 4.000.000 \\ &= \text{Rp } 5.346.988 \\ K_f &= \frac{12}{36} = 0,33 \\ T_c &= 5.346.988 \times 0,33 \\ &= \text{Rp } 1.764.506 \end{aligned}$$

Tabel 10. Biaya Penggantian Komponen Dengan Corrective Maintenance

No	Komponen	a (Rp/Jam)	b (Rp/Jam)	c (Jam)	d (Rp/Jam)	Cf	Tc (tp)
1	<i>Screw Barrel</i>	IDR8.239	IDR530.556	9	IDR10.500.000	IDR15.349.156	IDR11.511.867
2	<i>Oil Cooler</i>	IDR8.239	IDR530.556	2,5	IDR4.000.000	IDR5.346.988	IDR1.764.506

Keterangan :

- a = Biaya Tenaga Kerja
- b = Biaya Kerugian Produksi
- c = Waktu Penggantian Korektif
- d = Harga Komponen
- Cf = Biaya Penggantian Korektif (*Cost of Failure*)
= (a+b) x c + d
- Tc (tp) = Total Biaya Korektif
= Cf x Kf
- Kf = Frekuensi Kerusakan
= $\frac{\text{frekuensi kerusakan}}{\text{jumlah bulan}}$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh biaya perawatan korektif untuk masing – masing komponen *screw barrel* dan *oil cooler* ialah sebesar Rp 11.511.867 dan Rp 1.764.506.

Berikut adalah perhitungan biaya *preventive maintenance* :

1. Komponen *Screw Barrel*

$$\begin{aligned} \text{Age Replacement} &= 48000 \text{ menit} \\ T_p &= 501,277 \text{ menit} = 8,35 \text{ jam} \\ C_p &= (8.239+530.556) \times 8,35 + 10.500.000 \\ &= \text{Rp } 14.988.939 \\ R(tp) &= 0,791002262 \\ F(tp) &= 0,208997738 \\ M(tp) &= 290945,6556 \\ T_c &= \frac{(C_p \times R(tp)) + (C_f \times F(tp))}{R(tp) + (M(tp) \times F(tp))} \\ &= \frac{(14.988.939 \times 0,791002262) + (15.349.156 \times 0,208997738)}{0,791002262 + (290945,6556 \times 0,208997738)} \\ &= \frac{15.072.133}{60.808} \\ &= \text{Rp } 8.923.148 \end{aligned}$$

2. Komponen *Oil Cooler*

$$\begin{aligned} \text{Age Replacement} &= 89000 \text{ menit} \\ T_p &= 110,083 \text{ menit} = 1,83 \text{ jam} \\ C_p &= (8.239+530.556) \times 1,83 + 4.000.000 \\ &= \text{Rp } 4.988.536 \\ R(tp) &= 0,956824625 \\ F(tp) &= 0,043175375 \\ M(tp) &= 2481717 \\ T_c &= \frac{(C_p \times R(tp)) + (C_f \times F(tp))}{R(tp) + (M(tp) \times F(tp))} \\ &= \frac{(4.988.536 \times 0,956824625) + (5.346.988 \times 0,043175375)}{0,956824625 + (2481717 \times 0,043175375)} \\ &= \frac{5.004.013}{107.150} \\ &= \text{Rp } 1.371.608 \end{aligned}$$

Tabel 11. Biaya Penggantian Komponen Dengan Preventive Maintenance

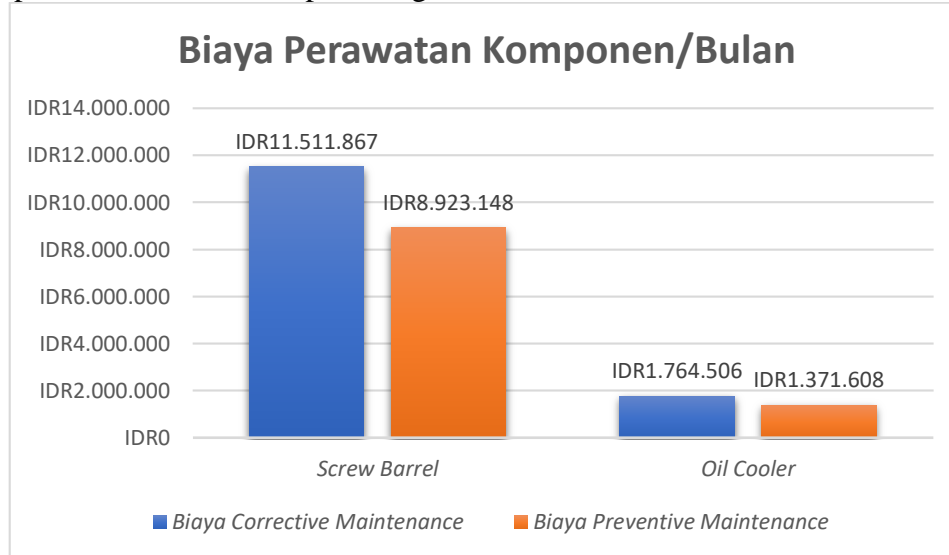
No	Komponen	A (Rp/Jam)	b (Rp/Jam)	c (Jam)	d (Rp/Jam)	Cf	Tc
1	<i>Screw Barrel</i>	IDR8.239	IDR530.556	8,35	IDR10.500.000	IDR14.998.939	IDR8.923.148
2	<i>Oil Cooler</i>	IDR8.239	IDR530.556	1,83	IDR4.000.000	IDR4.988.536	IDR1.371.608

Tabel 12. Perbandingan Biaya Perawatan Komponen Mesin Dengan Corrective Maintenance dan Preventive Maintenance

No	Komponen	Tc Corrective	Tc Preventive	Saving Cost	Presentase
1	<i>Screw Barrel</i>	IDR11.511.867	IDR8.923.148	IDR2.588.718	12,67%

2 Oil Cooler IDR1.764.506 IDR1.371.608 IDR392.898 12,53%

Berikut ini adalah grafik perbandingan biaya perawatan komponen *screw barrel* dan *oil cooler* secara *corrective maintenance* dan *preventive maintenance* per bulan berdasarkan perhitungan diatas :



Gambar 8. Grafik Perbandingan Biaya Perawatan Komponen/Bulan

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai *preventive maintenance* dengan waktu penggantian untuk komponen *screw barrel* pada $tp = 48000$ menit dan *oil cooler* pada $tp = 89000$ menit ialah sebesar Rp 8.923.148 dan Rp 1.371.608, Maka diperoleh nilai penghematan biaya sebesar Rp 2.588.718 dan Rp 392.898 atau sekitar 12-13% bila dibandingkan dengan biaya *corrective maintenance* untuk masing – masing komponen.

KESIMPULAN

1. Komponen yang tergolong kritis pada mesin *Injection Molding* plastik didapat dari diagram *pareto* 80:20 dimana komponen *screw barrel* dan *oil cooler* yang terpilih dengan presentase kumulatif masing – masing sebesar 68% dan 74%.
2. Waktu interval penggantian dan pencegahan komponen kritis bahwa dari pengolahan data didapat bahwa komponen *screw barrel* pada interval waktu penggantian selama 33,3 hari dan untuk komponen *oil cooler* pada interval waktu penggantian selama 61,80 hari. Pada interval pemeriksaan komponen mesin bahwa komponen *screw barrel* memiliki interval pemeriksaan selama 6 hari sekali dan untuk komponen *oil cooler* memiliki interval pemeriksaan selama 19 hari sekali.
3. Total biaya penggantian komponen terkecil didapatkan dengan metode *preventive maintenance* sebesar Rp 11.511.867 untuk komponen *screw barrel* dan Rp 1.764.506 untuk komponen *oil cooler*. Jika dibandingkan dengan total biaya penggantian komponen oleh perusahaan yaitu metode *corrective maintenance* sebesar Rp 8.293.148 untuk komponen *screw barrel* dan Rp 1.371.608 untuk komponen *oil cooler*. Sehingga selisih biaya antara perawatan yang ditetapkan perusahaan dengan metode usulan adalah sebesar Rp 2.588.718 untuk komponen *screw barrel* dan Rp 392.898 untuk komponen *oil cooler*. Penghematan biaya perawatan metode usulan mencapai 12-13% untuk masing – masing komponen.

DAFTAR PUSTAKA

- Asih, E. W., Sodikin, I., & Triski, D. S. (2021). Penjadwalan Perawatan Preventif dan Waktu Penggantian Mesin Huller dengan Metode Age Replacement dan Therbogh's Model. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*.
- Dhillon, B. S. (2007). *Applied Reliability and Quality: Fundamentals, Methods and Procedures*. Springer.
- Duffuaa, S. O., & Raouf, A. (2015). *Planning and Control of Maintenance Systems Modelling and Analysis Second Edition* (Second Edition). Springer International Publishing Switzerland.
- E. Ebeling, C. (1997). *An Introduction To Reliability and Maintainability Engineering* (E. M. Munson, Ed.). McGraw-Hill Companies.
- Fansuri, R. F., Widiasih, W., & Nuha, H. (2016). Penentuan Interval Waktu Preventive Maintenance dan Biaya Perawatan Mesin Bandsaw di CV. SISI JATI BENING dengan Metode Age Replacement. *TA*.
- Haririn, S. R., & Wulandari, D. (2019). Perencanaan Perawatan Pengoptimalan Biaya Down Time Mesin Flying Shear Metode Age Replacement di PT. HANIL JAYA STEEL. *JPTM*, 8(1), 41–47.
- Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2013). *Maintenance, Replacement, and Reliability* (Second Edition). Taylor & Francis Group.
- Koch, R. (1997). *The 80/20 Principle: The Secret of Achieving More with Less*. Nicholas Brealey Publishing.
- Kurniawan, F. (2013). *Manajemen Perawatan Industri Teknik Dan Aplikasi: Implementasi Total Productive Maintenance (TPM), Preventive Maintenance & Reliability Centered Maintenance (RCM)* (Pertama). Graha Ilmu.
- Pranowo, I. (2009). *Sistem dan Manajemen Pemeliharaan* (Pertama). Deepublish Publisher.
- Septiyan, H., Abdulrahim, I. M., Siti, M., & Khoiroh, S. T. (n.d.). *ANALISIS KUALITAS PRODUK SONGKOK DENGAN MENGGUNAKAN METODE STATISTICAL PROCESS CONTROL (SPC) DI UD.SONGKOK NIZAM GRESIK*.
- Septyani, S., & Taufik. (2015). Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Turbin di PT PLN (PERSERO) Sektor Pembangkit Ombilin. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 14(2), 238–258.
- Sodikin, I. (2010). Analisis Penentuan Waktu Perawatan dan Jumlah Persediaan Suku Cadang Rantai Garu yang Optima. *Teknologi*, 3(1), 44–52.
- Wahjudi, D., & Amelia. (2000). Analisa Penjadwalan dan Biaya Perawatan Mesin Press untuk Pembentukan Kampas Rem. *TEKNIK MESIN*, 2(1), 50–61.
- Yuda Prawiro, Y. (2015). Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis Pada Mesin Volpack Menggunakan Metode Age Replacement. In *Jurnal Teknik Industri* (Vol. 16, Issue 2).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)