

Preventive maintenance pada mesin *die casting* dengan *age replacement* model untuk peningkatan reliabilitas mesin

Andriani¹, Ikhsan Romli²

Sekolah Tinggi Teknologi Pelita Bangsa

E-mail: ¹andriani@pelitabangsa.ac.id, ²ikhsan.romli@pelitabangsa.ac.id

Abstrak. Dalam suatu industri, bagian *maintenance* memegang peranan yang sangat penting untuk menjamin kelancaran proses produksi. Metode pemeliharaan mesin dengan *preventive maintenance* merupakan suatu strategi yang dapat dipertimbangkan dalam memperbaiki kinerja mesin yang ada. Hal tersebut dikarenakan perawatan yang benar dan teratur dapat meningkatkan kinerja mesin dan mengurangi tingkat kerusakan mesin yang nantinya akan berpengaruh terhadap kontinuitas kegiatan produksi. Pada *die casting* division PT Astra Honda Motor pada mesin *die casting* 07 terjadi 45 kali kerusakan pada komponen *ladle* dan 11 kali kerusakan pada komponen *auto spray*. Kedua komponen ini adalah komponen kritis pada mesin *die casting* 07. Setelah dilakukan pengujian *index of fit* dan *goodness of fit* pada data waktu kerusakan dan data waktu perbaikan untuk memperoleh pola penyebaran data berdasarkan distribusi kerusakan tertentu, diperoleh hasil bahwa nilai MTTF komponen *ladle* sebesar 107.833 jam dan komponen *auto spray* sebesar 314.226 jam. Sedangkan untuk nilai MTTR komponen *ladle* sebesar 0.385 jam dan komponen *auto spray* 0.766 jam. Langkah selanjutnya adalah mencari interval waktu penggantian komponen kritis dengan metode *age replacement model*, untuk selanjutnya dikaji apakah terdapat peningkatan reliabilitas, penurunan total *downtime*, dan penghematan biaya sebelum dilakukan *preventive maintenance* dan setelah dilakukan *preventive maintenance*.

Kata kunci: *preventive maintenance*, reliabilitas, *availability*, *age replacement model*, *downtime*.

Abstract. In an industry, the maintenance department plays a very important role in ensuring the smooth production process. The method of machine maintenance with preventive maintenance is a strategy that can be used to repair existing machines. This is related to proper and regular maintenance can improve engine performance and reduce the level of engine damage which will increase the continuity of production activities. In the die casting division of PT Astra Honda Motor in the observation on the die casting machine 07 there were 45 times damage to the ladle component and 11 times the damage to the auto spray component. These two components are critical components of the 07 die casting machine. After testing the compatibility index and the good compatibility of the damage time data and repair time data to obtain distribution data distribution patterns, obtain the ladle component MTTF assessment results of 107,833 hours and auto spray components amounting to 314,226 hours. Whereas the MTTR value of the spoon component is 0.385 hours and the auto spray component is 0.766 hours. The next step is to look for critical component replacement time intervals with the age replacement model, to further review whether it is related to increased reliability, decrease in total downtime, and cost savings before preventive maintenance is carried out and after preventive maintenance is carried out.

Keywords: *preventive maintenance*, reliability, *availability*, *age replacement model*, *downtime*.

1 Pendahuluan

Semakin ketatnya persaingan industri di pasar global, sehingga setiap perusahaan dituntut untuk meningkatkan kecepatan produksinya, meningkatkan kelancaran, efektifitas, dan efisiensi kegiatan operasinya. Salah satu hal yang mendukung kelancaran kegiatan operasi pada suatu perusahaan adalah kesiapan mesin-mesin produksi dalam melaksanakan tugasnya. Untuk menjaga agar mesin selalu tersedia untuk proses produksi, sehingga kontinuitas kegiatan produksi dapat terus terjaga, maka dibutuhkan pemeliharaan mesin atau *maintenance* yang baik.

Pada seksi *Die casting* yang terdapat di suatu perusahaan otomotif terdapat 20 mesin *Die casting*. Proses yang dilakukan di area *die casting* ini adalah mencetak bahan baku berupa material aluminium yang dilebur menjadi cair yang kemudian di injeksi menggunakan tekanan tinggi. Produk yang dihasilkan dari proses ini adalah *Crank Case R*, *Crank Case L* dan *Cylinder Comp*. *Die casting* merupakan suatu proses awal dari pembuatan sepeda motor untuk selanjutnya dilakukan proses *machining*. Proses *aluminium casting* pada divisi ini sangat penting. Apabila proses produksinya terganggu karena terjadinya kerusakan mesin,

akan menghambat proses produksi komponen *Crank Case R*, *Crank Case L* dan *Cylinder Comp*. Akibatnya jumlah *output* dari *die casting division* yang akan menjadi input bagi proses *machining* akan berkurang sehingga akan mengganggu jadwal produksi secara keseluruhan.

Tingginya jumlah *breakdown* yang terjadi pada divisi *die casting* serta besarnya total *downtime* adalah masalah yang terjadi pada *die casting division*. *Downtime* yang terjadi pada *die casting division* adalah kegagalan operasi yang disebabkan adanya komponen dari mesin *die casting* yang mengalami kerusakan, sehingga menyebabkan mesin *die casting* harus berhenti beroperasi. Kerusakan tersebut menyebabkan harus dilakukan akses ke mesin dan pengecekan komponen yang bermasalah, identifikasi penyebab kerusakan mesin, perbaikan atau penggantian komponen yang rusak, serta verifikasi untuk memastikan bahwa mesin telah berfungsi kembali. Sistem pemeliharaan mesin yang diterapkan pada perusahaan adalah *corrective maintenance* pada komponen yang mengalami *breakdown*. Hal tersebut berdampak pada rendahnya nilai reliabilitas dan availabilitas dari mesin *die casting*. Untuk *preventive maintenance* yang dilakukan saat ini adalah pembersihan mesin dari lelehan atau *molten aluminium*. Namun hal tersebut belum secara rutin dilakukan dan total *downtime* yang terjadi masih sangat tinggi.

Dalam melakukan perbaikan pada sistem manajemen peralatan produksi, perusahaan terus menerus mencari metode bagaimana menciptakan sebuah sistem pemeliharaan yang produktif, efisien, dan efektif. Kesiapan dan keandalan fasilitas dan peralatan-peralatan yang dimiliki perusahaan harus dipelihara agar tidak mengganggu proses produksi. Tentunya hal ini harus didukung oleh sistem pemeliharaan yang teratur dan terencana. Beberapa peneliti sebelumnya telah mencoba menerapkan sistem pemeliharaan dengan berbagai pendekatan. Sebagian peneliti kerap menerapkan strategi *maintenance* untuk meningkatkan keandalan mesin diantaranya mesin tepung ikan, mesin jahit, dan mesin boiler (Anggono & Linawati, 2005; Wiguna, 2015; Susanto, 2017; Purnama, 2015).

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pelaksanaan *preventive maintenance* yang tepat sehingga dapat mengurangi total *downtime* yang terjadi sehingga ketersediaan dan kehandalan mesin *die casting* dapat meningkat dengan pendekatan *age replacement*.

2 Kajian Pustaka

Pemeliharaan atau perawatan (*maintenance*) adalah suatu aktivitas yang berkaitan dengan usaha mempertahankan peralatan/sistem dalam kondisi layak bekerja (Heizer & Render, 2015). Sedangkan menurut O'Connor & Kleyner (2012) dalam bukunya yang berjudul *Practical Reliability Engineering* definisi pemeliharaan (*maintenance*) adalah suatu kegiatan untuk memelihara dan menjaga fasilitas yang ada serta memperbaiki, melakukan penyesuaian atau penggantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi operasi produksi agar sesuai dengan perencanaan yang ada.

Jadi dari berbagai macam pendapat ahli tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemeliharaan atau *maintenance* adalah suatu usaha untuk menjaga agar fasilitas produksi dapat bekerja dengan baik dalam bentuk aktifitas perbaikan, penyesuaian, penggantian dan pemeriksaan yang diperlukan untuk memastikan kontinuitas kegiatan produksi tanpa ada hambatan dari fasilitas produksi tersebut.

Sedangkan tujuan utama dilakukannya pemeliharaan menurut O'Connor & Kleyner (2012) antara lain:

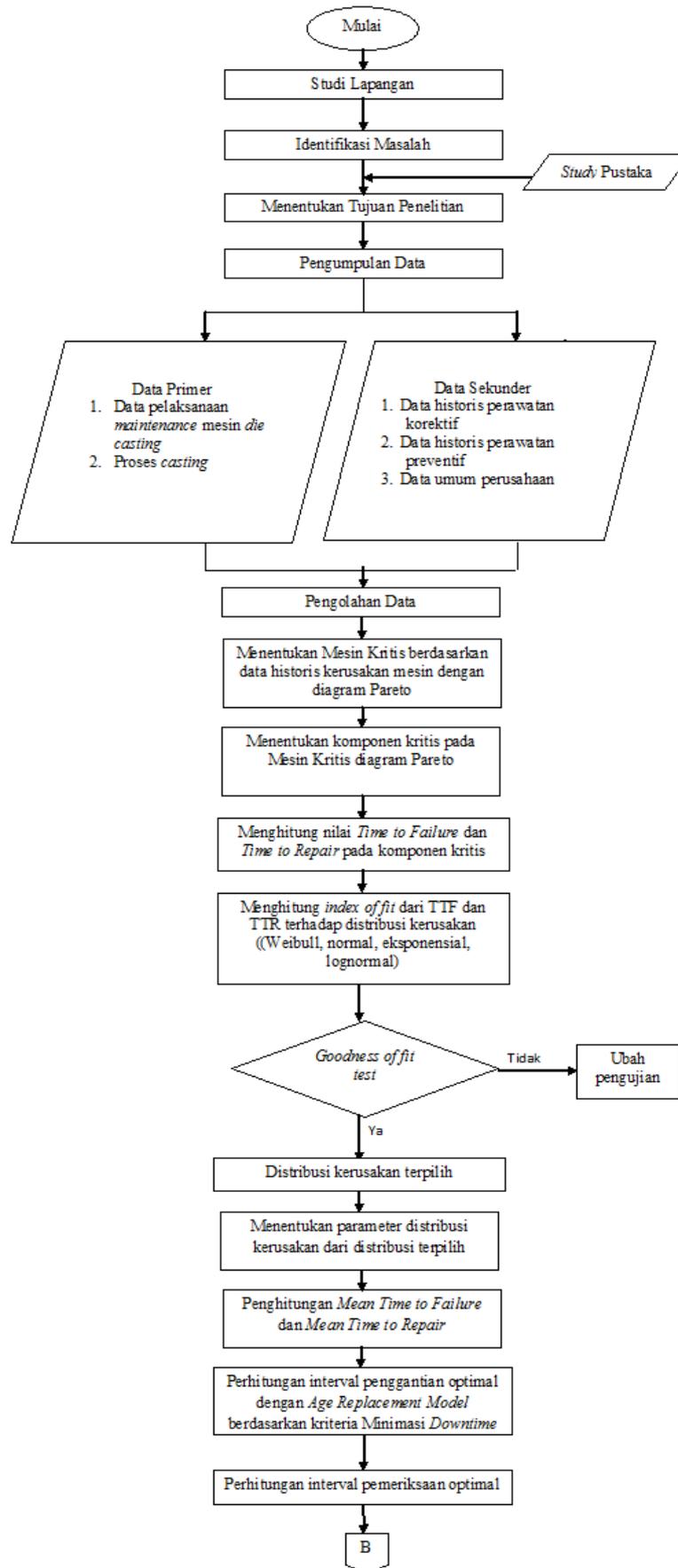
1. Mempertahankan kemampuan alat atau fasilitas produksi guna memenuhi kebutuhan yang sesuai dengan target serta rencana produksi.
 2. Mengurangi pemakaian dan penyimpangan diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama jangka waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan.
 3. Menjaga agar kualitas produk berada pada tingkat yang diharapkan guna memenuhi apa yang dibutuhkan produk itu sendiri dan menjaga agar kegiatan produksi tidak mengalami gangguan.
- Kerangka berfikir untuk pemecahan masalah penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

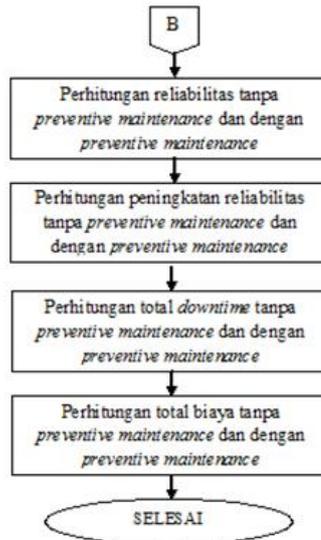
3 Metode

Langkah-langkah yang ditempuh dalam metodologi pemecahan masalah pada penelitian ini, adalah sebagai berikut:

Jenis Data

Penelitian ini dilakukan di *Die Casting Unit*. Jenis data yang digunakan meliputi data primer dan sekunder. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pelaksanaan *maintenance* untuk mesin *die casting* dan pengetahuan umum mengenai proses *casting*. Data sekunder pada penelitian ini diperoleh secara lisan maupun tulisan.





Gambar 1 Kerangka Pemikiran Masalah.

Sumber Data

Sumber data menurut jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data primer berasal dari wawancara dengan bagian *process engineering* yang melakukan *maintenance* terhadap mesin *die casting*.
2. Data sekunder berasal dari *Human Resources and General Affair Division (HR and GA)* yang mencakup data umum perusahaan, dari Departemen Produksi mencakup jam kerja tersedia dan jam kerja produksi serta informasi mengenai proses *casting*, dari Departemen *Process Engineering* mengenai data historis kerusakan mesin tahun 2012 dan biaya komponen serta informasi mengenai proses *casting*.

Metode Pengumpulan Data

Beberapa metode yang digunakan dalam melakukan pengumpulan data yaitu *field research* (penelitian lapangan), *library research* (penelitian pustaka), dan wawancara.

Teknik Analisis

Langkah-langkah dalam metodologi pemecahan masalah ini dimulai dari suatu studi lapangan pada perusahaan yang menjadi tempat penelitian, kemudian identifikasi dan perumusan masalah, studi pustaka, tujuan penelitian, pengumpulan data, pengolahan data, analisa dan pembahasan.

4 Hasil dan Pembahasan

Pengujian *Index of Fit Time to Failure (TTF)* dan *Time to Repair (TTR)* Komponen Kritis

Pengujian *index of fit* terhadap empat macam distribusi kerusakan untuk data TTF yaitu distribusi Weibull, eksponensial, normal dan lognormal, hasil rekapitulasi perhitungan koefisien korelasi r dari masing-masing distribusi dapat dilihat pada Tabel 1.

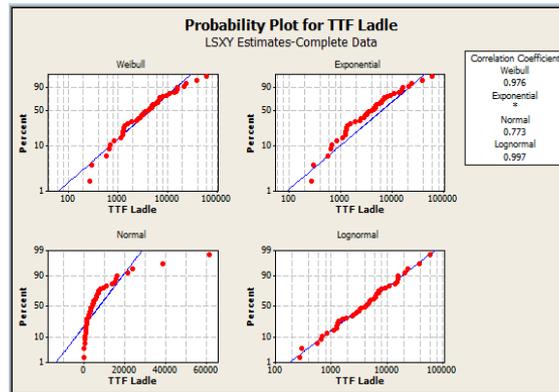
Tabel 1 Rekapitulasi pengujian *Index of Fit* TTF komponen *Ladle*

Komponen	Distribusi	<i>Index of fit</i>
<i>Ladle</i>	Weibull	0.976
	Eksponensial	0.937
	Normal	0.773
	Lognormal	0.996

(Sumber: pengolahan data)

Dari perhitungan manual *index of fit* data *time to failure* komponen *ladle* didapatkan nilai r terbesar 0.996 mengikuti distribusi lognormal. Selanjutnya dilakukan pengujian *index of fit* data TTF komponen dengan

Minitab untuk memperkuat hasil pengujian. Berikut adalah gambar hasil pengujian *index of fit* dengan Minitab 14.



Gambar 2 Pengujian *index of fit* data TTF komponen *Ladle* dengan Minitab 14. (Sumber: pengolahan data).

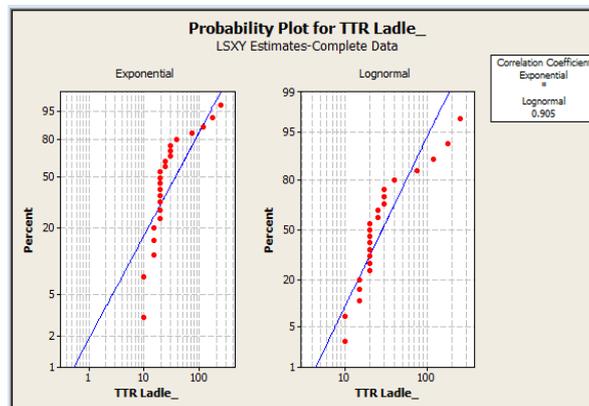
Dari hasil pengujian *index of fit* data TTF komponen *ladle* dengan Minitab 14 didapatkan nilai koefisien korelasi terbesar mengikuti distribusi lognormal. Setelah dilakukan pengujian *index of fit* terhadap empat macam distribusi kerusakan untuk data TTR yaitu distribusi eksponensial dan lognormal, hasil rekapitulasi perhitungan koefisien korelasi r dari masing-masing distribusi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Rekapitulasi pengujian *Index of Fit* TTR komponen *Ladle*

Komponen	Distribusi	<i>Index of fit</i>
Ladle	Ekspensial	0.8511
	Lognormal	0.863

(Sumber: pengolahan data)

Dari perhitungan manual *index of fit* data *time to repair* komponen *ladle* didapatkan nilai r terbesar 0.863 mengikuti distribusi lognormal. Selanjutnya dilakukan pengujian *index of fit* data TTR komponen dengan Minitab 14 untuk memperkuat hasil pengujian.



Gambar 3 Pengujian *Index of Fit* TTR komponen *Ladle*. (Sumber: pengolahan data).

Dari hasil pengujian *index of fit* data TTR komponen *ladle* dengan Minitab 14 didapatkan nilai koefisien korelasi terbesar mengikuti distribusi Lognormal.

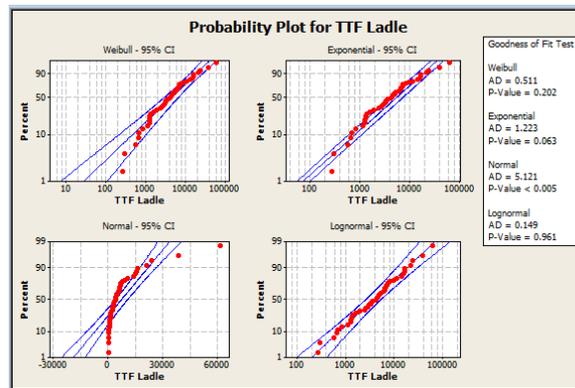
Goodness of Fit Test

Setelah dilakukan pengujian *index of fit* pada data TTF dan TTR tiap komponen, tahapan selanjutnya adalah pengujian *goodness of fit test* pada tiap komponen. *Goodness of fit test* dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Minitab 14.

1. *Goodness of Fit Test* Data TTF Komponen *Ladle*

Dari perhitungan manual *index of fit* terhadap data kerusakan komponen *ladle* didapatkan nilai *r* terbesar adalah dengan menggunakan distribusi Weibull. Namun agar pengujian yang dilakukan lebih akurat, maka perlu dilakukan pengujian kesesuaian distribusi (*Goodness of Fit test*) yang dapat dilakukan dengan bantuan *software* Minitab 14.

Pengujian dikatakan sesuai atau mengikuti suatu distribusi tertentu apabila nilai *P-value* terbesar mengikuti suatu distribusi tertentu atau menghasilkan nilai *Anderson-Darling* terkecil. Hasil pengujian *goodness of fit test* komponen *ladle* dapat dilihat pada Gambar 4.



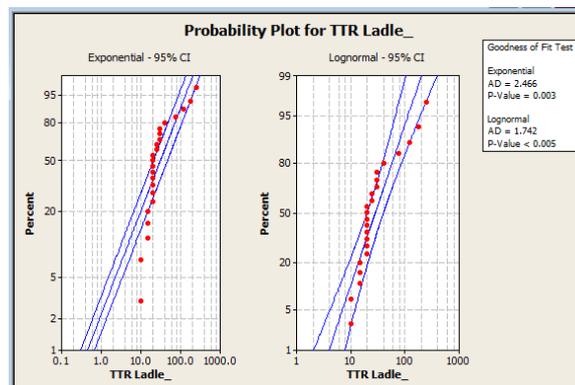
Gambar 4 Goodness of Fit Test komponen *ladle*.
(Sumber: pengolahan data).

Dari hasil pengujian *goodness of fit test* data TTF pada komponen *ladle* didapatkan *P-value* terbesar dan *Anderson Darling* terkecil mengikuti distribusi lognormal (*P-value* = 0,961; AD=0.149) Nilai *P-value* yang dihasilkan pun lebih besar dari $\alpha=0.05$. Maka selanjutnya untuk perhitungan parameter MTTF komponen menggunakan distribusi lognormal.

2. *Goodness of Fit Test* Data TTR Komponen *Ladle*

Dari perhitungan manual *index of fit* terhadap data perbaikan komponen *ladle* didapatkan nilai *r* terbesar adalah dengan menggunakan distribusi lognormal. Namun agar pengujian yang dilakukan lebih akurat, maka perlu dilakukan pengujian kesesuaian distribusi (*goodness of fit test*) yang dapat dilakukan dengan bantuan *software* Minitab 14.

Pengujian dikatakan sesuai atau mengikuti suatu distribusi tertentu apabila nilai *P-value* terbesar mengikuti suatu distribusi tertentu atau menghasilkan nilai *Anderson-Darling* terkecil. Hasil pengujian *goodness of fit test* data TTR komponen *ladle* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Goodness of Fit Test TTR komponen *Ladle*.
(Sumber: pengolahan data)

Dari hasil pengujian *goodness of fit test* data TTR pada komponen *ladle* didapatkan *P-value* terbesar dan *Anderson Darling* terkecil mengikuti distribusi Lognormal (*P-value* = <0.0050; AD=1.742) Nilai *P-value* yang dihasilkan kurang dari $\alpha=0.05$. hal tersebut kurang dari *P-value* yang diinginkan >0.05. Namun karena

keterbatasan ketersediaan data historis komponen, perhitungan TTR tetap dilanjutkan dengan data tersebut. Maka selanjutnya untuk perhitungan parameter MTTR komponen menggunakan distribusi lognormal.

Perhitungan Parameter, MTTF dan MTTR Distribusi Terpilih

Setelah didapatkan distribusi kerusakan yang sesuai untuk data *time to failure* dan data *time to repair* untuk tiap-tiap komponen, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *mean time to failure* dan *mean time to repair* tiap komponen kritis beserta parameternya.

1. Perhitungan Parameter dan MTTF Komponen *Ladle*

Dari pengujian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa data *time to failure* komponen *ladle* mengikuti sebaran distribusi lognormal. Untuk distribusi lognormal memiliki dua parameter yaitu parameter bentuk (s) dan parameter lokasi (t_{med}). Perhitungan parameter beserta nilai MTTF komponen *ladle* sebagai berikut.

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} = \frac{182.029}{44} = 4.137 \quad (1)$$

$$t_{med} = e^{\mu} = 62.6161 \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} = \sqrt{\frac{47.8742}{44}} = 1.0431 \quad (3)$$

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} = 107.883 \text{ jam} \quad (4)$$

2. Perhitungan Parameter dan MTTR Komponen *Ladle*

Dari pengujian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa data *time to repair* komponen *ladle* mengikuti sebaran distribusi lognormal. Untuk distribusi lognormal memiliki dua parameter yaitu parameter bentuk (s) dan parameter lokasi (t_{med}). Perhitungan parameter beserta nilai MTTR komponen *ladle* sebagai berikut.

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} = \frac{-57.437}{45} = -1.27 \quad (5)$$

$$t_{med} = e^{\mu} = 0.2790 \quad (6)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} = 0.8033 \quad (7)$$

$$MTTR = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} = 0.3853 \text{ jam} \quad (8)$$

3. Interval Waktu Penggantian Komponen *Ladle*

Dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya berdasarkan data waktu kerusakan atau *time to failure* komponen *Ladle*, diperoleh hasil bahwa data tersebut berdistribusi lognormal dengan nilai parameter beserta *Mean Time to Failure* yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$\text{Parameter } t_{med} = 62.6161$$

$$\text{Parameter } s = 1.0431$$

$$MTTF = 107.883 \text{ jam}$$

Selanjutnya, dari data parameter-parameter pada distribusi lognormal yang mengikuti data *time to failure* komponen *ladle* tersebut akan diolah untuk mencari nilai interval waktu penggantian yang optimum. Perhitungan interval waktu penggantian komponen dilakukan berdasarkan kriteria minimasi *downtime*. Simulasi untuk perhitungan dilakukan berdasarkan interval waktu tertentu, sehingga didapatkan waktu optimum penggantian komponen *ladle*.

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai nilai $D(tp)$ terendah sebagai kriteria penetapan *Age replacement Time* dengan hasil sebagai berikut.

$$\text{Age replacement} = 90 \text{ jam}$$

$$D(tp)_{\min} = 0.002731397$$

$$\text{Availability} = 1 - D(tp)_{\min} = 1 - 0.002731397 = 0.997268603 \quad (9)$$

Perhitungan Interval Pemeriksaan Optimal

Dari nilai MTTR yang telah diketahui, dapat diperoleh interval pemeriksaan optimal untuk tiap komponen sebagai berikut.

1. Komponen *Ladle*

Rata-rata jam kerja perbulan = 25 hari x 21 jam = 525 jam

Jumlah Kerusakan pertahun = 45 kerusakan

Waktu rata-rata perbaikan ($1/\mu$)

Perhitungan waktu rata-rata perbaikan ($1/\mu$) tiap terjadinya kerusakan untuk komponen *ladle* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{1}{\mu} &= \frac{MTTR}{\text{Rata-rata jam kerja perbulan}} & (10) \\ \frac{1}{\mu} &= \frac{0.3853}{525 \text{ jam}} \\ \frac{1}{\mu} &= 0.000734 \\ \mu &= \frac{1}{1/\mu} = 1362.6 \end{aligned}$$

Waktu rata-rata pemeriksaan ($1/i$)

Misalkan waktu rata-rata 1 kali pemeriksaan 15 menit = 0.25 jam

Perhitungan waktu rata-rata pemeriksaan ($1/i$) untuk komponen *ladle* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} i &= \frac{\text{rata-rata jam kerja perbulan}}{\text{rata-rata 1x pemeriksaan}} & (11) \\ i &= \frac{525 \text{ jam}}{0.25 \text{ jam}} = 2100 \end{aligned}$$

Rata-rata kerusakan (k)

Nilai rata-rata kerusakan (k) didapat dari total kerusakan yang terjadi dibagi jumlah bulan kerusakan. Untuk komponen *ladle* nilai rata-rata kerusakannya adalah sebagai berikut.

$$k = \frac{\text{Jumlah kerusakan}}{\text{jumlah bulan}} = \frac{45}{12} = 3.75 \quad (12)$$

Frekuensi pemeriksaan optimal (n)

Frekuensi pemeriksaan optimal untuk komponen *ladle* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} n &= \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}} = \sqrt{\frac{3.75 \times 2100}{1362.6}} & (13) \\ n &= 2.40 \end{aligned}$$

Interval waktu pemeriksaan (t_i)

Interval waktu pemeriksaan didapatkan dari pembagian rata-rata jam kerja per bulan dengan frekuensi pemeriksaan optimal komponen *ladle*.

$$\begin{aligned} t_i &= \frac{\text{rata-rata jam kerja/bulan}}{n} & (14) \\ t_i &= \frac{525}{2.4040} = 218.3827 \text{ jam} = 10.399 \text{ hari} \end{aligned}$$

Nilai *Availability* ($A(n)$)

Nilai *availabilitas* pemeriksaan komponen *ladle* didapatkan dari perhitungan sebagai berikut.

$$D(n) = \frac{k}{n \times \mu} + \frac{n}{i} \quad (15)$$

$$D(n) = \frac{3.75}{1.69991 \times 1362.6} + \frac{1.69991}{1050} = 0.00229 \quad (16)$$

$$\begin{aligned} A(n) &= 1 - D(n) \\ A(n) &= 1 - 0.003729 = 0.99771 \end{aligned}$$

Nilai *availabilitas* total didapatkan dari perkalian *availabilitas* penggantian dan *availabilitas* pemeriksaan. Hasil perhitungan nilai *availabilitas* total dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Perhitungan *availabilitas* total

Komponen	Availabilitas Penggantian	Availabilitas Pemeriksaan	Availabilitas Total
<i>Ladle</i>	0.997268603	0.9967	0.993977617

Perhitungan Reliabilitas Tanpa *Preventive Maintenance* dan Dengan *Preventive Maintenance*

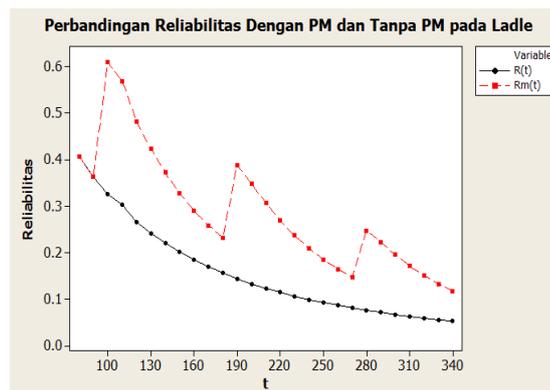
Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan reliabilitas keadaan sekarang $R(t)$ dengan reliabilitas setelah menerapkan *preventive maintenance* usulan $R_m(t)$. Diharapkan dengan menerapkan *preventive maintenance* usulan ini dapat mengurangi kerusakan karena usia dari mesin yang sudah tua atau sudah saatnya mengalami kerusakan (*wear-out*) sehingga *reliability* dari mesin akan meningkat dari sebelumnya. Model kehandalan ini mengasumsikan sistem kembali kondisi semula baru setelah menjalani tindakan *preventive maintenance* dalam hal ini berupa penggantian komponen.

Nilai reliabilitas adalah suatu fungsi terhadap waktu. Untuk perbandingan reliabilitas tanpa dilakukan tindakan *preventive maintenance* ($R(t)$) dan reliabilitas dengan *preventive maintenance* ($R_m(t)$) pada komponen *ladle* dilakukan dengan melakukan simulasi perhitungan reliabilitas terhadap variabel waktu yang sama. Diharapkan dengan menerapkan *preventive maintenance* nilai reliabilitas mesin dapat lebih tinggi dibandingkan nilai reliabilitas mesin tanpa dilakukan *preventive maintenance*. Nilai reliabilitas tanpa *preventive maintenance* dan dengan *preventive maintenance* ini pula yang akan menjadi salah satu faktor pertimbangan apakah *preventive maintenance* layak atau tidak untuk dilakukan. Simulasi perhitungan nilai reliabilitas mesin tanpa *preventive maintenance* ($R(t)$) dan nilai reliabilitas dengan *preventive maintenance* ($R_m(t)$) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan reliabilitas tanpa *Preventive Maintenance* ($R(t)$) dan dengan *Preventive Maintenance* ($R_m(t)$) komponen *Ladle*

T	$R(t)$	$R_m(t)$
80	0.407142	0.407142
90	0.363984	0.363984
100	0.326771	0.611018
107	0.303725	0.568828
120	0.266428	0.483211

Dari simulasi di atas dapat dilihat bahwa nilai reliabilitas pada saat MTTF yaitu pada saat $t=107$ jam dengan *preventive maintenance* lebih besar dibandingkan nilai reliabilitas tanpa *preventive maintenance*. Dari hasil perhitungan simulasi reliabilitas komponen tanpa *preventive maintenance* dan dengan *preventive maintenance* tersebut dapat disajikan dalam bentuk grafik dengan bantuan *software* minitab 14 dengan hasil sebagai berikut.



Gambar 6 Perbandingan reliabilitas komponen *Ladle* dengan *Preventive Maintenance* ($R_m(t)$) dan tanpa *Preventive Maintenance* ($R(t)$)

Peningkatan Reliabilitas Pada Komponen

Pada komponen *ladle*, hasil Perhitungan menunjukkan *reliability* sebesar 30,37 % sebelum menerapkan *preventive maintenance* pada saat MTTF. Berdasarkan dari perhitungan diatas didapatkan interval penggantian komponen *ladle* adalah setiap 90 jam. Dengan interval waktu penggantian kompoenen tersebut maka didapatkan nilai *reliability* sesudah *preventive maintenance* sebesar 56,88% pada saat MTTF sehingga terjadi peningkatan reliabilitas. Perhitungan persentase peningkatan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P. \text{ reliabilitas} &= \frac{R_m(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\% & (17) \\
 &= \frac{0.5688 - 0.3037}{0.3037} \times 100\% \\
 &= 87,28 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan Total Downtime Sebelum *Preventive maintenance*

Perhitungan total *downtime* sebelum *preventive maintenance* diperoleh dari menjumlahkan rata-rata *downtime* per bulan yang terjadi pada komponen *ladle*

Rata-rata *downtime* tiap bulan = total *downtime* pertahun / 12 bulan = 1245 / 12 = 103.75 menit = 1.7291 jam

Perhitungan Total Downtime Sesudah Preventive maintenance

Total downtime yang terjadi dengan menerapkan *preventif maintenance* adalah total downtime yang terjadi karena mesin harus berhenti untuk melakukan penggantian komponen kritis. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

T (*Age replacement*) = 90 jam

Rata-rata jam kerja/bulan = 525 Jam

Frekuensi penggantian = $525/90 = 5.833 \sim 6$

Waktu standar preventif (t_p) = 0.25 jam

Rata-rata *downtime* perbulan = Frek. penggantian x $t_p = 6 \times 0.25 = 1.5$ jam

Perbandingan *downtime* yang terjadi pada komponen *ladle* sebelum diterapkan *preventive maintenance* dan setelah diterapkan *preventive maintenance* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan *downtime* komponen sebelum dan sesudah *preventive maintenance*

Kondisi	Downtime (jam)	Waktu yang Dihemat (jam)	Persentase
Sebelum <i>Preventive Maintenance</i>	1.7291		
Setelah <i>Preventive Maintenance</i>	1.3472	0.3819	22%

Perhitungan Total Biaya Sebelum dan Sesudah *Preventive Maintenance*

Rincian biaya yang terkait dengan aktifitas *maintenance* adalah sebagai berikut:

- Biaya Bahan Baku
Dalam memproduksi 1 buah *crank case* tipe R, membutuhkan waktu selama 65 detik (*cycle time*), sehingga total produk yang dihasilkan dalam waktu 1 jam adalah sebanyak:
 $3600 \text{ detik} / 65 \text{ detik} = 55.38 \sim 56$ produk
Bahan baku berupa aluminium yang dibutuhkan untuk memproduksi 1 buah *crank case* tipe R sebanyak 3 kg, dengan biaya Rp 8.000/kg. Sehingga total biaya bahan baku untuk memproduksi *crank case* tipe R per jam nya adalah:
 $56 \text{ produk/jam} \times \text{Rp. } 8.000,00 / \text{kg} \times 3 \text{ kg /produk} = \text{Rp } 1.344.000/\text{jam}$
- Biaya Listrik
Daya dibutuhkan untuk menjalankan mesin DC-07 dengan kapasitas 650T adalah sebesar 22 kWh, sehingga dalam waktu 1 jam akan menghabiskan biaya listrik sebesar:
 $22 \text{ kW} \times \text{Rp } 1.009,00 = \text{Rp } 22.198,00/\text{jam}$
- Biaya Tenaga Kerja
Biaya tenaga kerja diasumsikan sesuai dengan UMR (Upah Minimum Regional) Jakarta sebesar Rp 2,200,000,00/bulan.
Dalam 1 minggu, operator bekerja selama 5 hari (tidak termasuk lembur), dengan total waktu bekerja selama 7 jam setiap hari nya
Biaya tenaga kerja / hari = $\text{Rp } 2.200.000,00 / 20 \text{ hari kerja} = \text{Rp } 110.000,00$
Biaya tenaga kerja / jam = $\text{Rp } 110.000,00 / 7 = \text{Rp } 15.714,00/\text{jam}$
- Biaya Kehilangan Produksi / Jam
Biaya kehilangan produksi / jam adalah total dari biaya kehilangan listrik, biaya tenaga kerja, dan biaya bahan baku
Biaya Kehilangan produksi per jam
= Biaya Bahan Baku + Biaya Listrik + Biaya Tenaga Kerja
= $\text{Rp } 1.344.000,00 + \text{Rp } 22.198,00 + \text{Rp } 15.714,00 = \text{Rp } 1.381.912,00/\text{jam}$
- Biaya Komponen
Biaya komponen adalah biaya untuk pembelian satu buah komponen untuk penggantian pencegahan sebelum komponen tersebut mengalami kerusakan yang menyebabkan terhentinya fasilitas produksi. Harga satuan untuk komponen kritis pada mesin *die casting 07* adalah sebagai berikut:

Tabel 6 Harga satuan komponen kritis

Komponen	Harga Komponen
<i>Ladle</i>	Rp. 775.000,00

6. Biaya Siklus *Failure* (Cf) dan Biaya Siklus *Preventive* (Cp)
 Cf = ((biaya tenaga kerja/jam + biaya kehilangan produksi/jam) x Tf) + biaya komponen
 Cp = (biaya tenaga kerja/jam x tp) + biaya komponen

Tabel 7 Biaya siklus *failure* dan biaya siklus *preventive*

Wsf=MTTR	wsp	Cf	Cp
0.385	0.25	Rp 1.313.086,00	Rp 778.929,00

7. Total Biaya
Total Failure Cost (Tf) adalah total biaya yang dikeluarkan karena terjadinya kerusakan sebelum dilakukannya *preventive maintenance*.

Total Failure Cost (Tf) komponen *ladle*

Tf=MTTF= 90 Jam

Kf = jam kerja per bulan/MTTF= 525/107=4.90~5

$$Tc(tf) = \frac{Cf}{tf} = \frac{Rp.1.313.086}{107 \text{ jam}} = Rp. 12.271,83/\text{jam} \quad (18)$$

$$Tc(tf) = Rp. 1.313.086 \times 5 = Rp. 6.565.430,00/\text{bulan}$$

Total Preventive Cost (Tc(tp)) adalah total biaya yang dikeluarkan setelah dilakukannya *preventive maintenance* dengan penggantian pencegahan.

Perhitungan *total preventive cost* untuk komponen *ladle* adalah sebagai berikut :

Kp=jam kerja perbulan/tp=525/90=5.83~6

$$Tc(tp) = \frac{Cp \times R(tp) + Cf(1-R(tp))}{tp \times R(tp) + tf(1-R(tp))} \quad (19)$$

$$Tc(tp) = \frac{Rp. 778.929, \times 0.363 + Rp. 1.313.086 \times 0.636}{90 \times 0.363 + 107 \times 0.636} = Rp. 11.098.61/\text{jam}$$

$$Tc(tp) = Rp. 11.098.61 \times 90 \times 6 = Rp. 5.993.246/\text{bulan}$$

Tabel 8 Penghematan biaya setelah dilakukan *preventive maintenance*

Sebelum <i>Preventive</i> (per bulan)	Sesudah <i>Preventive</i> (per bulan)	Cost Saving	Cost Saving (%)
Rp 6.565.430,00	Rp 5.993.246,00	Rp 572.184,00	8.72

5 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari keseluruhan mesin pada *Aluminium Casting Division*, yang menjadi mesin kritis pada periode pengamatan Januari 2012-Desember 2012 adalah mesin *die casting 07* dengan total *downtime* sebesar 5045 menit. Komponen kritis terpilih dari mesin *die casting 07* yaitu, *ladle* dengan frekuensi *breakdown* sebanyak 45 kali.
2. Interval waktu penggantian komponen kritis dengan *age replacement model* untuk komponen *ladle* adalah sebesar 90 jam. Untuk interval waktu pemeriksaan optimal untuk komponen *ladle* adalah 218.38 jam.
3. Nilai availabilitas total yaitu nilai perkalian dari availabilitas penggantian komponen dan availabilitas pemeriksaan adalah sebesar 0.993 untuk komponen *ladle*. Pada komponen *ladle*, nilai reliabilitas pada saat *mean time to failure* tanpa *preventive maintenance* sebesar 0.3037 atau 30.37%. Sedangkan nilai reliabilitas pada saat *mean time to failure* dengan *preventive maintenance* sebesar 0.5688 atau 56.88%. Hal tersebut berarti terdapat kenaikan reliabilitas sebesar 87.28%.
4. Total *downtime* komponen kritis sebelum *preventive maintenance* selama 3.076 jam dan setelah *preventive maintenance* selama 2.16 jam. Sehingga terdapat penghematan waktu selama 0.916 jam atau sebesar 29%.
5. Setelah melakukan penghitungan terhadap biaya-biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan sebelum melakukan *preventive maintenance* berupa penggantian komponen dan dan biaya biaya yang dikeluarkan untuk melaksanakan *preventive maintenance*, didapatkan hasil bahwa perusahaan dapat

menekan rata-rata biaya yang dikeluarkan (*cost saving*) untuk komponen *ladle* sebanyak Rp. 572.184 per bulan dari biaya sebesar Rp. 6.565.430 menjadi Rp. 5.993.246 atau sebesar 8.72 %.

Saran

1. Perusahaan perlu menerapkan tindakan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*), yaitu dengan cara melakukan penggantian pencegahan dan pemeriksaan terhadap komponen-komponen kritis secara berkala. Interval waktu penggantian komponen kritis dengan *age replacement model* untuk komponen *ladle* adalah sebesar 90 jam dan untuk komponen *auto spray* sebesar 265 jam. Untuk interval waktu pemeriksaan optimal untuk komponen *ladle* adalah 218.38 jam dan untuk komponen *auto spray* adalah 361.595 jam.
2. Diperlukan penjadwalan perawatan secara rinci untuk mengurangi frekuensi *breakdown* dan total *downtime*, serta meningkatkan tingkat availabilitas dan reliabilitas pada mesin-mesin produksi.
3. Perusahaan perlu memperhatikan jumlah ketersediaan komponen kritis, agar komponen selalu tersedia sewaktu dilakukan penggantian.
4. Perusahaan perlu memberikan pelatihan-pelatihan guna meningkatkan kemampuan pekerja dalam bidang *maintenance*, untuk dapat mengaplikasikan sistem perawatan pencegahan pada PT Astra Honda Motor secara lebih baik.
5. Disarankan untuk mengubah paradigma atau pola pikir yang ada selama ini, bahwa kegiatan *maintenance* bukan hanya ada pada saat terjadi kerusakan mesin, tapi sangat penting untuk mencegah terjadinya kerusakan mesin secara mendadak atau tiba-tiba.

Referensi

- Anggono, W., Linawati, J. (2005). *Preventive Maintenance System dengan Modularity Design Sebagai Solusi Penurunan Biaya Maintenance (Study Kasus di Perusahaan Tepung Ikan)*. *Jurnal Teknik Industri*. Vol. 7, No. 1, 61-75.
- Dhillon, B. S., (2002), *Engineering maintenance: A modern approach*. CRC Press, Florida.
- Djunaidi, M. dan Sufa, M.F. 2007. Usulan Interval Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Pencetak Botol (Mould Gear) Berdasarkan Kriteria Minimasi Downtime, *Jurnal Teknik Gelagar*, Vol. 18 No.01, 33-41.
- Ebeling, C.E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. The McGraw-Hill Company, Singapore.
- Heizer, J. and Render, B. (2015). *Manajemen Operasi*. 11th Ed. Salemba Empat, Jakarta.
- Jardine, A.K.S. (1993). *Maintenance, Replacement, and Reliability*. Pittman Publishing Company, Canada.
- Jardine, A.K.S. (2001). *Maintenance Excellence*. MArcell Dekker, Inc., New York.
- Leflar, J.S. (2001). *Practical TPM: The Method for Success at Agilent Technologies*. Productivity, Inc., Oregon.
- Mitra, A. (1993). *Fundamental of Quality Control and Improvement*. Macmillan Publising Company, New York.
- O'Connor, P. and Kleyner, A. (2012). *Practical Reliability Engineering*. 5th Ed. John Wiley and Sons, Ltd., USA.
- Patton Jr. and D. Joseph. (1995). *Preventive Maintenance*. The International Society for Measurement and Control, United States.
- Supandi. (1995). *Manajemen Perawatan Industri*. Ganesa Exact, Bandung.
- Susanto, I.A. (2017). Kajian Peningkatan Keandalan Mesin Boiler Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Pada Industri Manufaktur Shck Absorber di Cikarang. *Operations Excellence*, 9 (1), 79-90.
- Tampubolon, P.M. (2004). *Manajemen Operasional*. Edisi Pertama. Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Wignjosoebroto, S. (2003). *Pengantar Teknik dan Manajemen Industri*, Gunawidya, Jakarta.
- Wiguna, I.A. (2015). Implementasi Program TPM (Total Productive Maintenance) Mesin CJ4 di PT Kimberly-Clark Indonesia. *Operations Excellence*, 7 (2), 185-206.