

PENJADWALAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* DI PT. WAHANA LENTERA RAYA

Octa Wendy Tanurahardja¹⁾, Dian Retno Sari Dewi²⁾, Anastasia Lidya Maukar²⁾
E-mail: octacomp@yahoo.com

ABSTRAK

PT. Wahana Lentera Raya didirikan pada tahun 2002 dan merupakan perusahaan yang bergerak di bidang Furniture. PT. Wahana Lentera Raya mengalami kesulitan dengan sering terjadinya kerusakan yang tidak terduga pada mesin, sehingga mengakibatkan mesin harus berhenti untuk berproduksi. Oleh karena itu PT. Wahana Lentera Raya meminta dilakukan penelitian untuk penjadwalan preventive maintenance. Dari 18 jenis mesin yang dimiliki oleh PT. Wahana Lentera Raya, yang dapat dilakukan penjadwalan maintenance-nya hanya 3 jenis mesin karena data yang dimiliki perusahaan masih kurang. Ketiga jenis mesin tersebut, yaitu BST, HPL dan BHC. Dari 3 jenis mesin ini dicari yang termasuk mesin kritis, dengan melihat tingkat utilitas mesin. Kemudian dari waktu antar kerusakan dicari distribusi data waktu antar kerusakannya agar dapat dilakukan perhitungan untuk menemukan nilai mean time of failure (MTTF), tingkat keandalan mesin, dan nilai ekspektasi kerusakan dari masing-masing mesin. Perhitungan nilai MTTF, tingkat keandalan mesin dan nilai ekspektasi kerusakan mesin ini nantinya digunakan dalam menentukan penjadwalan preventive maintenance. Penjadwalan preventive maintenance dilakukan dalam 3 skenario yang berbeda. Dari ketiga skenario penjadwalan maintenance ini, yang disarankan untuk perusahaan adalah skenario ketiga, karena efisiensi biaya yang cukup tinggi dan tingkat keandalan mesin yang di atas 80%.

Kata kunci: penjadwalan, *preventive maintenance*, nilai MTTF, keandalan mesin

PENDAHULUAN

Perawatan terhadap mesin produksi sangat penting untuk menjaga kelancaran proses produksi agar dapat berjalan dengan normal, sehingga permintaan akan barang dapat terpenuhi tepat pada waktunya. Salah satu hal yang dapat menyebabkan proses produksi terhenti adalah kerusakan yang terjadi pada mesin.

PT. Wahana Lentera Raya merupakan perusahaan yang memproduksi *furniture*, seperti: meja komputer, *office series*, *tv table*, dan *home furniture*. PT. Wahana Lentera Raya mengalami kesulitan dikarenakan seringnya terjadi kerusakan yang tidak terduga pada mesin, yang mengakibatkan berkurangnya jumlah waktu yang digunakan untuk memproduksi barang. Dengan sering terjadinya kerusakan mesin ini, juga mengakibatkan penjadwalan produksi yang sudah dibuat tidak dapat digunakan dan harus direvisi.

Untuk mengatasi hal ini, PT. Wahana Lentera Raya telah melakukan perawatan pada mesin yang dimilikinya. Perawatan mesin yang dilakukan PT. Wahana Lentera Raya hanya berupa *corrective maintenance*, yaitu tindakan yang dilakukan untuk memperbaiki mesin jika terjadi kerusakan. Kerusakan pada mesin memang tidak dapat diketahui secara pasti kapan terjadinya, maka dari itu juga perlu dilakukan *preventive maintenance*, yang bertujuan untuk mencegah dan mengurangi

terjadinya *downtime* pada mesin. Sistem perawatan ini dilaksanakan sebelum terjadi kerusakan dan dilakukan pada selang waktu yang telah ditentukan sebelumnya. Penjadwalan *preventive maintenance* ini, diharapkan dapat membuat mesin tidak mengalami kerusakan, terutama pada saat jam produksi.

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Sistem Perawatan

Sistem perawatan mempunyai arti, yaitu kegiatan yang dilakukan dalam rangka untuk menjaga atau memperbaiki aktifitas, atau sistem yang menyimpang dari pemakaian peralatan.

Definisi *Maintenance* dan *Repair*

Istilah *maintenance* dan *repair* sangat erat kaitannya dengan sistem perawatan. Tetapi *maintenance* dan *repair* mempunyai definisi yang berbeda. *Maintenance* atau perawatan mempunyai arti aktivitas yang dilakukan untuk mencegah kerusakan. Sedangkan *repair* atau perbaikan mempunyai arti kegiatan atau tindakan yang dilakukan untuk memperbaiki kerusakan.

Tujuan *Maintenance*

Perawatan atau *maintenance* pada mesin mempunyai tujuan, antara lain:

1. mengurangi tingkat kerusakan yang akan terjadi pada mesin;
2. meminimalkan biaya perawatan;

¹⁾ Mahasiswa di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Industri Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

²⁾ Staf pengajar di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Industri Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

3. menjaga kualitas komponen pada tingkat yang tepat guna untuk memenuhi kebutuhan mesin itu sendiri dan juga untuk menjaga kelancaran proses produksi;
4. memperpanjang usia pakai mesin;
5. menghindari terjadinya kerusakan yang tidak terencana.

Fungsi Waktu Kerusakan (Failure Function)

Fungsi waktu kerusakan suatu komponen mesin adalah probabilitas hubungan antara kerusakan dan waktu. Fungsi waktu kerusakan suatu komponen mesin dapat diketahui dengan cara mencari distribusi statistik yang paling cocok dengan waktu antar kerusakan. Model-model distribusi yang sering digunakan untuk menggambarkan suatu pola karakteristik kerusakan, antara lain distribusi eksponensial.

Distribusi Eksponensial (min, beta)

Fungsi probabilitas waktu kerusakan dari distribusi eksponensial adalah^[1]:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)\right) \quad x > 0 \quad (1)$$

dengan:

min = *minimum x value*

β = parameter skala = *mean*

Fungsi keandalan :

$$R(x) = \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)\right) \quad (2)$$

Mean Time To Failure:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(x)dt = \beta \quad (3)$$

Distribusi *exponential* biasa digunakan untuk memodelkan *lifetime* barang atau komponen elektronik dan barang lain yang mempunyai keandalan konstan.

Fungsi Keandalan (Reliability Function)

Keandalan berarti probabilitas suatu sistem dapat berfungsi baik setelah beroperasi dalam jangka waktu dan kondisi tertentu. Suatu alat atau komponen dikatakan andal jika alat tersebut dapat berfungsi dengan baik, sehingga dapat dinyatakan sebagai $R(t)$, di mana $0 \leq R(t) \leq 1$. Fungsi keandalan dapat dinotasikan $R(t) = P(\text{peralatan beroperasi pada saat } t)$ ^[2].

Jika x menyatakan umur suatu peralatan, maka:

$$R(t) = P(x > t) = 1 - P(x \leq t) = 1 - F(t) \quad (4)$$

Fungsi kepadatan probabilitas untuk masing-masing komponen mesin dihitung dengan persamaan:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \left[\frac{1}{\sigma \sqrt{2 * \pi}} \exp\left\{\frac{t - \mu}{2 * \sigma}\right\}\right] = N\left\{\frac{t - \mu}{\sigma}\right\} \quad (5)$$

Fungsi keandalan untuk masing-masing komponen dihitung dengan persamaan:

$$R(t) = \int_{-\infty}^t \left[\frac{1}{\sigma \sqrt{2 * \pi}} \exp\left\{\frac{t - \mu}{2 * \sigma}\right\}\right] = 1 - N\left\{\frac{t - \mu}{\sigma}\right\} \quad (6)$$

Mean Time To Failure (MTTF)

Mean time to failure adalah rata-rata waktu yang digunakan dalam pemakaian mesin sampai komponen tersebut rusak. *MTTF* seringkali digunakan untuk menyatakan angka ekspektasi $E(t)$ yang dinyatakan sebagai berikut^[3]:

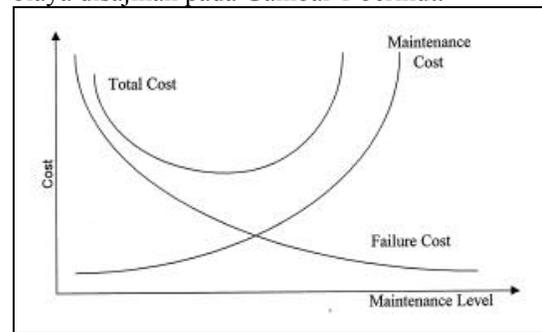
$$MTTF = E(t) = \int_0^{\infty} t f_1(t) dt; t \geq 0 \quad (7)$$

Untuk integral $t f(t) dt$ dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\int_0^{\infty} t f(t) dt = -\frac{\sigma}{\sqrt{2 * \pi}} \exp\left\{\frac{(t - \mu)^2}{2 * \sigma^2}\right\} + \left\{\mu * N\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)\right\} \quad (8)$$

Efisiensi Perawatan

Pola *maintenance* yang optimal perlu dicari dengan tujuan agar biaya perawatan dengan biaya kerusakan dapat seimbang pada *total cost* yang paling minimal. Grafik hubungan antara maintenance level terhadap biaya disajikan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Grafik hubungan biaya dengan maintenance level

Preventive cost merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang dilakukan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan sebelumnya. Sedangkan *failure cost* merupakan biaya yang timbul karena terjadi

kerusakan yang tidak terduga dan menyebabkan mesin berhenti beroperasi pada saat proses produksi sedang berjalan. Hubungan antara biaya-biaya dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$C(tp) = \frac{\text{Ekspektasi total biaya dalam satu siklus}}{\text{Ekspektasi panjang satu siklus}}$$

$$C(tp) = \frac{Cp + Cf.H(tp)}{tp};$$

$$H(tp) = \int_0^{tp} h(t)dt = -\ln[R(tp)] \quad (9)$$

dengan:

- Cf : Biaya satu siklus *failure*
- Cp : Biaya satu siklus *preventive*
- H(tp) : Ekspektasi frekuensi kerusakan mesin.

a. Failure cost

Perhitungan *failure cost* ini mencakup:
 a = Biaya lost sale = waktu perbaikan (jam) x kapasitas produksi (pc/jam) x profit (Rp/pc)
 b = Biaya tenaga kerja = waktu perbaikan (jam) x gaji tenaga kerja (Rp/jam/orang)
 c = Harga rata - rata komponen yang diganti
 Dengan demikian *failure cost* dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$Cf = a + b + c \quad (10)$$

b. preventive cost

Perhitungan *preventive cost* ini mencakup:
 -Perawatan pencegahan pada jam produksi
 a = Biaya lost sale = waktu perbaikan (jam) x kapasitas produksi (pc/jam) x profit (Rp/pc)
 b = Biaya tenaga kerja = waktu perbaikan (jam) x gaji tenaga kerja (Rp/jam/orang)
 c = Harga rata - rata komponen yang diganti

$$Cp = a + b + c \quad (11)$$

-Perawatan pencegahan diluar jam produksi
 x = biaya reparasi = lama waktu reparasi x jam kerja (Rp/jam/orang) x jumlah teknisi
 y = harga komponen

$$Cp = x + y \quad (12)$$

Pengujian Hipotesis Distribusi Data (Goodness of Fit Test)

Goodness of fit merupakan metode yang digunakan untuk menguji suatu kumpulan data yang telah didapat, merupakan sampel dari distribusi tertentu. Ada tiga macam *goodness of fit test* antara lain:

- a. Uji *Chi - square*, biasa digunakan untuk jumlah data yang banyak dan untuk data yang bersifat diskrit.

Uji *Chi - square* adalah seperti di bawah ini:

Statistik sampel dari *Chi -Square*

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (13)$$

selang [0,1] dibagi atas n sub selang. dengan:

E_i = Ekspektasi banyaknya bilangan dalam sub selang ke-i

Untuk distribusi seragam:

$$E_i = \frac{N}{n} \quad (14)$$

dengan:

- N = total banyaknya nilai observasi
- O_i = Banyaknya bilangan acak R_i yang berada dalam i kelas

Hipotesis ditolak jika: $\chi^2 > \chi^2_{\alpha,(n-1)}$

Umumnya *Chi-Square* digunakan untuk m ≥ 100 sub selang dengan N yang cukup (N ≥ 1000) agar hasil yang didapat lebih presisi. untuk m yang besar dapat digunakan pendekatan distribusi normal sebagai berikut.

$$\chi^2_{n-1,1-\alpha} = (n-1) \left(1 - \frac{2}{9(n-1)} + Z_{(1-\alpha)} \sqrt{\frac{2}{9(n-1)}} \right)^3 \quad (15)$$

- b. Uji Kolmogorov Smirnov (*KS test*), dapat digunakan untuk data yang sedikit maupun banyak dan untuk data bersifat kontinyu.

Uji statistik Kolmogorov Smirnov adalah membandingkan *cumulative distribution function (cdf)*, F(x) dari distribusi seragam dengan distribusi empiris Sn(x) dari sampel N observasi.

$$F_{(x)} = x; 0 \leq x \leq 1$$

$$Sn_{(x)} = \frac{\text{banyak dari } R_1, R_2 \dots R_N \leq x}{N} \quad (16)$$

N semakin besar, semakin bagus pendekatan terhadap F_(x).

Kolmogorov Smirnov test didasarkan pada simpangan absolut antara F_(x) dan Sn_(x)

$$D = \max [F_{(x)} - Sn_{(x)}] \quad (17)$$

Langkah-langkah dalam menguji *test* Kolmogorov Smirnov adalah sebagai berikut:

- 1. Urutkan R_i dari terkecil sampai dengan terbesar
- 2. Hitung D⁺ dan D⁻ dengan persamaan berikut:

$$D^+ = \max \left\{ \frac{i}{N} - R_{(i)} \right\}; 1 \leq i \leq N \quad (18)$$

$$D^- = \max \left\{ R_{(i)} - \frac{i-1}{N} \right\}; 1 \leq i \leq N \quad (19)$$

3. Tentukan D dengan persamaan:

$$D = \max [D^+, D^-] \quad (20)$$

4. Tentukan D_α dari tabel Kolmogorov Smirnov

5. Uji hipotesis berikut dengan *Significance level* = α :

H_0 = data mengikuti model distribusi tertentu

H_1 = data tidak mengikuti model distribusi tertentu

H_0 = data mengikuti model distribusi tertentu

H_1 = data tidak mengikuti model distribusi tertentu.

c. Uji Anderson-Darling, merupakan modifikasi dari *KS test*.

Uji statistik Anderson-Darling adalah seperti di bawah ini:

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2n-1) [\ln(z_i) + (\ln(1 - Z_{n-i+1}))] \quad (21)$$

Uji normalitas :

$$AD^* = AD \left[1 + \frac{4}{n} + \frac{25}{n^2} \right] \quad (22)$$

dengan:

A= nilai kritis Anderson-Darling;

n = *sample size*;

Z_i = nilai data.

Uji hipotesis berikut dengan *Significance level* = α

H_0 = data mengikuti model distribusi tertentu

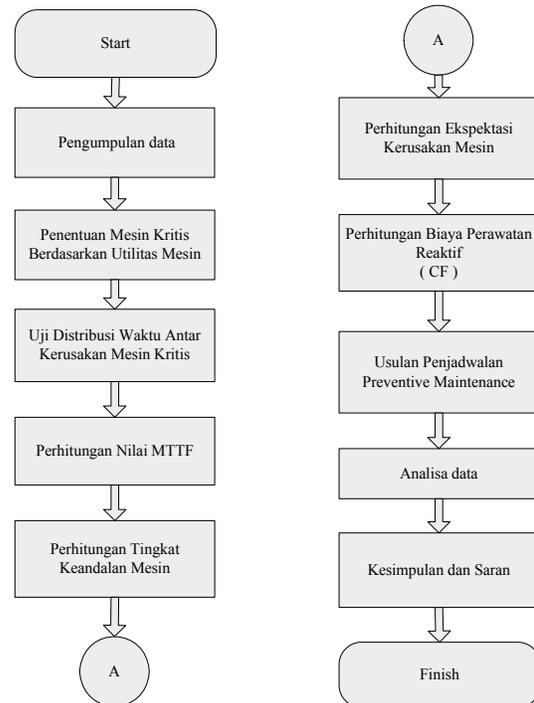
H_1 = data tidak mengikuti model distribusi tertentu

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti langkah-langkah dalam diagram alir sebagaimana disajikan pada Gambar 2 berikut.

Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk melakukan pengolahan dan analisis data yang akan dilakukan pada tahap berikutnya. Dikarenakan keterbatasan data dan pencatatan kerusakan komponen mesin yang tidak lengkap, maka data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah



Gambar 2. Diagram Alir Metode Penelitian

data kerusakan mesin. Pengumpulan data juga meliputi antara lain, jam kerja perusahaan, biaya perawatan, harga jual produk dan komponen komponen produk.

Menentukan Mesin Kritis

Penentuan mesin kritis, yaitu dengan melihat tingkat utilitas dari masing-masing mesin, penentuan mesin kritis ini bertujuan untuk menentukan mesin mana yang harus diprioritaskan dalam membuat penjadwalan perawatan.

Uji Distribusi Waktu Antar Kerusakan Mesin

Dari data waktu antar kerusakan mesin kemudian dicari distribusi yang mewakili pola dari data waktu antar kerusakan mesin dapat dilihat dari nilai *p-value*-nya dan dilakukan uji *goodness of fit*. Dalam menentukan distribusi waktu antar kerusakan ini menggunakan bantuan *software stat fit*.

Menghitung Nilai MTTF

Setelah diketahui jenis distribusi dari data waktu antar kerusakan mesin, maka dapat dilakukan perhitungan nilai *MTTF*. Dari hasil perhitungan *MTTF* dapat diketahui nilai n jam, yang mempunyai arti setelah pemakaian n jam, maka mesin tersebut harus di *maintenance* ulang.

Perhitungan Tingkat Keandalan Mesin

Setelah diketahui jenis distribusi dari data waktu antar kerusakan mesin, dapat dilakukan perhitungan untuk mencari tingkat keandalan mesin setelah pemakaian selama n jam.

Perhitungan Ekspektasi Kerusakan Mesin

Perhitungan ekspektasi kerusakan mesin ini berguna untuk mengetahui seberapa besar presentasi kerusakan mesin akan terjadi setelah pemakaian selama n jam.

Perhitungan Biaya Perawatan Reaktif (CF)

Biaya Perawatan reaktif ini merupakan biaya perawatan sebelum dilakukan *preventive maintenance*. Biaya perawatan ini terdiri dari biaya tenaga kerja, biaya kehilangan produksi, dan biaya *sparepart* baru.

Usulan Penjadwalan Preventive Maintenance Mesin

Usulan penjadwalan *preventive maintenance* ini terdiri dari tiga skenario, yaitu:

- Skenario pertama, penjadwalan *preventive maintenance* dilakukan satu minggu sekali dan di luar jam produksi.
- Skenario kedua, penjadwalan *preventive maintenance* dilakukan satu minggu dua kali dan diluar jam produksi.
- Skenario ketiga, penjadwalan *preventive maintenance* dilakukan diluar jam produksi dan tingkat keandalan mesin diatas 80%.

Analisis Data

Analisis data yang dapat dilakukan yaitu dengan membandingkan total biaya *maintenance* yang awal (CF) dengan total biaya *preventive maintenance* (CP) untuk masing-masing skenario, sehingga dapat diketahui efisiensi biaya yang didapat oleh perusahaan.

Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir yang harus dilakukan adalah mengambil kesimpulan akhir mengenai penjadwalan *maintenance* ini dan saran yang bermanfaat bagi perusahaan serta untuk penelitian lebih lanjut.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Jam kerja perusahaan

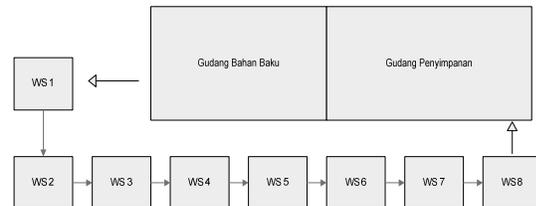
Jam kerja yang dimiliki oleh PT. Wahana Lentera Raya untuk bagian produksi adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Jam Kerja Perusahaan

Shift 1	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu
Masuk	7:15	7:15	7:15	7:15	7:15	0:00
Selesai	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00	0:00
Istirahat	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45	0:00
Shift 2	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu
Masuk	16:15	16:15	16:15	16:15	16:15	8:00
Selesai	23:45	23:45	23:45	23:45	23:45	15:15
Istirahat	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45

Layout Lantai Produksi PT. Wahana Lentera Raya

PT Wahana Lentera Raya menerapkan penjadwalan produksi *flow shop* yang artinya, produksi di *workstation* tertentu tergantung pada produksi di *workstation* sebelumnya. Sehingga jika salah satu *workstation* mengalami *bottleneck*, maka akan berdampak pada seluruh *workstation* yang berhubungan.



Gambar 3. Layout Lantai Produksi PT. Wahana Lentera Raya

Daftar Jenis – jenis Mesin produksi yang dimiliki oleh PT. Wahana Lentera Raya disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Jenis Mesin Produksi PT. Wahana Lentera Raya

No	Jenis Mesin	No	Jenis Mesin
1	Laminasi	9	Press
2	Wrapping	10	Altendorf
3	HPL	11	Edging/KTD
4	Moulding	12	Trim Edging
5	KAL	13	BST
6	Bandsaw	14	Multi bor
7	Spindel	15	CNC/BHC
8	Router		

Penentuan Mesin Kritis

Kondisi mesin kritis ditentukan berdasarkan tingkat utilitas dari masing-masing mesin. Penentuan mesin kritis ini bertujuan untuk menentukan mesin yang harus diprioritaskan dalam membuat penjadwalan *maintenance*. Lama pemakaian mesin BST dan lama pemakaian mesin HPL disajikan pada Tabel 3 dan 4 berikut.

Berikut ini perhitungan utilitas untuk jenis mesin berdasarkan data yang didapat dari perusahaan.

Tabel 3. Lama Pemakaian Mesin BST

Jenis produk	Lama Pemakaian mesin (jam)
Cupu MT 121	5,40
Jazz RC4	4,86
Jazz RC5	6,99
Jazz BL 120	13,91
Jazz 2PG	9,86
Cupu Vast BL 2P	34,79
Jazz 3P	22,71
	98,52

Keterangan:

Kapasitas mesin BST= Lama pemakaian mesin total = 98,52 jam.

$$\begin{aligned} \text{Utilitas Mesin BST} &= \frac{\text{Total pemakaian mesin}}{\text{Kapasitas mesin}} \quad (23) \\ &= \frac{98,52}{98,52} = 100\% \end{aligned}$$

Tabel 4. Lama Pemakaian Mesin HPL

Jenis produk	Lama Pemakaian mesin (jam)
Cupu MT 121	2,41
Jazz RC4	1,49
Jazz RC5	2,22
Jazz BL 120	11,45
Jazz 2PG	11,43
Cupu Vast BL 2P	10,76
Jazz 3P	30,42
	70,18

Keterangan :

Kapasitas mesin HPL = 80,25 jam

$$\begin{aligned} \text{Utilitas Mesin BST} &= \frac{\text{Total pemakaian mesin}}{\text{Kapasitas mesin}} \quad (24) \\ &= \frac{70,19}{80,25} = 87,45\% \end{aligned}$$

Untuk mesin BHC 550 nilai utilitas mesin adalah 0% karena jenis produk yang diproduksi pada saat pengambilan data tidak menggunakan mesin BHC 550 dalam proses produksinya.

Berdasarkan perhitungan utilitas mesin di atas, maka penjadwalan *preventive maintenance* dilakukan pada jenis mesin yang memiliki utilitas tinggi, yaitu jenis mesin BST dan HPL .

Data Kerusakan Mesin

Data waktu antar kerusakan mesin BST 1720 disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Data Waktu Antar Kerusakan Mesin BST 1720

No	Nama mesin	Waktu antar kerusakan (jam)
1	BST 1720	282,25
2	BST 1720	99,67
3	BST 1720	93,3
4	BST 1720	248,28
5	BST 1720	52,47
6	BST 1720	44,95
7	BST 1720	46,75
8	BST 1720	23
9	BST 1720	29,75
10	BST 1720	108,75
11	BST 1720	18,92
12	BST 1720	45,33
13	BST 1720	13,75
14	BST 1720	10
15	BST 1720	256
16	BST 1720	101
17	BST 1720	69,33
18	BST 1720	5,17
19	BST 1720	31,17
20	BST 1720	109,3
21	BST 1720	48,03

Penentuan Distribusi dari Data Kerusakan Mesin

Distribusi data waktu antar kerusakan untuk mesin BST 1720 yang didapat dari pengolahan data dengan menggunakan bantuan *software statfit*, adalah sebagai berikut:

Auto.:Fit of Distributions

distribution	rank	acceptance
Lognormal[-1.08, 3.98, 0.996]	100	do not reject
Exponential[5.17, 77.6]	91.9	do not reject
Normal[82.7, 80.2]	2.47	do not reject
Triangular[5.15, 314, 5.15]	0.311	reject
Uniform[5.17, 282]	5.4e-006	reject

Data waktu antar kerusakan mesin BST 1720 berdistribusi eksponensial dengan parameter yaitu min= 5,17 dan beta=77,6. Setelah didapat jenis distribusi dari data waktu antar kerusakan mesin, perlu dilakukan uji hipotesis untuk mengetahui apakah data waktu antar kerusakan mesin tersebut mengikuti model distribusi tertentu. Hasil uji Kolmogorov-Smirnov untuk mesin BST 1720 disajikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Uji Kolmogorov-Smirnov Untuk Mesin BST 1720

j	OrdStat	F(orderstat)	(j-0,5)/n	D+	D-
1	5,167	0,06	0,024	-0,037	
2	10	0,11	0,071	-0,042	0,09
3	13,75	0,15	0,119	-0,034	0,082
4	18,92	0,20	0,17	-0,04	0,09
5	23	0,24	0,21	-0,03	0,08
6	29,75	0,30	0,26	-0,04	0,09
7	31,17	0,31	0,31	0	0,05
8	44,95	0,42	0,36	-0,06	0,11
9	45,33	0,42	0,41	-0,02	0,07
10	46,75	0,43	0,45	0,02	0,03
11	48,03	0,44	0,5	0,06	-0,01
12	52,47	0,47	0,55	0,08	-0,03
13	69,33	0,57	0,6	0,03	0,02
14	93,3	0,68	0,64	-0,03	0,08
15	99,67	0,70	0,69	-0,01	0,06
16	101	0,71	0,74	0,03	0,02
17	108,75	0,73	0,79	0,05	-0,01
18	109,3	0,73	0,83	0,1	-0,05
19	248,28	0,95	0,88	-0,07	0,12
20	256	0,96	0,93	-0,03	0,07
21	282,25	0,97	0,98	0,01	0,04
Mean	82,7222		max	0,1	0,12
St dev	82,1411		Dhit	0,117	
			D		
			(0,05,21)	0,2872	

Uji hipotesis:

- H₀ = data mengikuti model distribusi *exponential*
- H₁ = data tidak mengikuti model distribusi *exponential*

Karena D_{hit} < D_(0,05, 21), maka H₀ gagal di tolak, artinya data *MTTF* (*Mean Time To Failure*) mesin BST 1720 mengikuti model distribusi *exponential*. Rangkuman jenis distribusi dari tiap mesin disajikan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Rangkuman Jenis Distribusi Dari Tiap Mesin

No	Nama Mesin	Jenis Distribusi	Nilai Parameter
1	BST 1719	<i>Exponential</i>	(1,33; 154)
2	BST 1720	<i>Exponential</i>	(5,17; 77,6)
3	BST 5007	<i>Exponential</i>	(7,92; 145)
4	HPL 11	<i>Exponential</i>	(11,3; 150)
5	HPL 510.1	<i>Exponential</i>	(2; 143)
6	HPL 510.2	<i>Exponential</i>	(0,67; 86,8)

Perhitungan *MTTF* (Mean Time To Failure)

Berikut ini adalah perhitungan nilai *MTTF*, tingkat keandalan (R_(t)) dan ekspektasi kerusakan (H_(t)) untuk mesin BST 1720 yang berdistribusi *Exponential* (5,17; 77,6). Min = 5,17 jam, artinya nilai minimum t adalah 5,17

jam. Beta = 77,6 jam, artinya nilai rata-rata waktu kerusakan mesin adalah 77,6 jam.

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)\right) \quad (25)$$

$$R(6) = \exp\left(-\left(\frac{6}{77,6}\right)\right) = 0,926$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \beta = 77,6 \quad (26)$$

$$H(tp) = \int_0^{tp} h(t)dt = -\ln[R(tp)]$$

$$H(6) = \int_0^6 h(7)dt = -\ln[R(6)]$$

$$H(6) = \int_0^6 h(t)dt = -\ln[0,926]$$

$$H(6) = 0,077$$

Dari hasil perhitungan di atas untuk mesin BST 1720, apabila dilakukan perawatan setiap 6 jam sekali, mesin tersebut mempunyai nilai keandalan sebesar 92,6% dan ekspektasi kerusakan hanya 7,7%.

Mesin BST 1720 ini mempunyai nilai *MTTF* (*Mean Time To Failure*) 77 jam dengan tingkat ekspektasi kerusakan 99,2%, maka dari itu sebaiknya perawatan mesin dilakukan sebelum pemakaian selama 77 jam. Dengan cara serupa dapat dihitung nilai *MTTF* dari tiap mesin dan hasilnya disajikan pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Rangkuman Nilai *MTTF* Dari Tiap Mesin

No	Nama Mesin	Nilai <i>MTTF</i> (jam)
1	BST 1719	154
2	BST 1720	77,6
3	BST 5007	145
4	HPL 11	150
5	HPL 510.1	143
6	HPL 510.2	86,8

Perhitungan komponen biaya

Untuk contoh perhitungan menggunakan produk dengan tipe ”Cupu MT 121”, produk ”Cupu MT 121” mempunyai 14 jenis komponen, sebagaimana disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Komponen Produk Cupu MT 121

No.	Nama Komponen	Jumlah
1	Meja Atas	1
2	Samping kanan	1
3	Samping kiri	1
4	Klam belakang	1
5	Klam depan	1
6	Hang	1
7	Bottom	1
8	Pintu	1
9	Depan laci	1
10	Sampng laci kanan	1
11	Samping laci kiri	1
12	Belakang laci	1
13	Alas laci	1
14	Penguat	1

Adapun data yang berpengaruh terhadap biaya perawatan secara langsung yaitu :

1. Profit = harga jual x 30 %
= Rp. 150.000,- x 30%
= Rp. 45.000,- / unit
= Rp. 45.000,- / 14 komponen
= Rp.3.214,- /komponen
2. Gaji Kepala Teknisi per jam
= [Rp.2.000.000,- / (80.25 jam/minggu x 4)]
= Rp. 6.230,-
3. Gaji lembur teknisi/operator =
Rp.100.000,-
4. Gaji teknisi per jam
= [Rp. 955.000,-/(80.25 jam/minggu x 4)]
= Rp. 2.975,-
5. Jumlah kepala teknisi di PT. Wahana Lentera Raya = 1 orang
6. Jumlah teknisi maintenance PT. Wahana Lentera Raya = 3 orang
7. *Cycle time* untuk tiap – tiap mesin :
-HPL = 45 detik, jadi 1 jam bisa menghasilkan = $(3600/40) = 90$ pieces.
-BST = 36 detik, jadi 1 jam bisa menghasilkan = $(3600/36) = 100$ pieces.
8. Rata – rata waktu perbaikan tiap mesin disajikan pada Tabel 10 berikut:

Tabel 10. Rata–rata Waktu Perbaikan Untuk Perawatan Reaktif (*CF*) Tiap Mesin

Nama Mesin	Menit	jam
BST 1719	186,15	3,103
BST1720	241,683	4,028
BST 5007	255,85	4,264
HPL 11	382,267	6,371
HPL510.1	219	3,65
HPL510.2	466,867	7,78

Perhitungan biaya perawatan reaktif (*CF*) untuk satu kali perawatan dari masing masing mesin adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Perhitungan Biaya Perawatan Reaktif

Jenis Mesin	Total Biaya <i>CF</i> (Rp)
BST 1719	1,829,379
BST1720	2,367,262
BST 5007	2,504,494
HPL 11	2,501,121
HPL510.1	1,443,591
HPL510.2	3,048,736

Usulan Penjadwalan *Preventive Maintenance*

Ada 3 skenario yang akan dibuat dalam usulan penjadwalan *preventive maintenance* ini. Dari setiap skenario ini akan dibandingkan berdasarkan biaya dan tingkat keandalan mesin.

Berdasarkan sumber dari perusahaan rata –rata lama waktu perbaikan mesin bila dilakukan pemeriksaan secara keseluruhan adalah 2,5 jam.

1. Skenario pertama penjadwalan perawatan dilakukan 1 minggu sekali, diluar jam produksi. Penjadwalan dilakukan setiap hari Senin jam 04:00 WIB. Dengan tingkat keandalan mesin dan total biaya sebagaimana disajikan pada Tabel 12 berikut:

Tabel 12. Perhitungan Total Baya *CP* Skenario Pertama

Nama Mesin	Tingkat Keandalan Mesin (%)	Total Biaya <i>CP</i> (Rp)
Mesin BST 1719	59,50	275,000
Mesin BST 1720	35,70	275,000
Mesin BST 5007	57,60	275,000
Mesin HPL 11	58,70	275,000
Mesin HPL 510.1	57,20	275,000
Mesin HPL 510.2	39,80	275,000

2. Skenario kedua penjadwalan perawatan dilakukan 2 kali seminggu, di luar jam produksi. Penjadwalan dilakukan setiap hari Kamis jam 04:00 WIB dan Sabtu jam 15:15 WIB. Dengan tingkat keandalan mesin dan total biaya sebagaimana disajikan pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13. Perhitungan Total Biaya *CP* Skenario Kedua

Nama Mesin	Tingkat Keandalan Mesin (%)	Total Biaya <i>CP</i> (Rp)
Mesin BST 1719	75,15 dan 79,15	275,000 dan 275,000
Mesin BST 1720	56,72 dan 62,88	275,000 dan 275,000
Mesin BST 5007	73,83 dan 78,01	275,000 dan 275,000
Mesin HPL 11	74,58 dan 78,66	275,000 dan 275,000
Mesin HPL 510.1	73,51 dan 77,74	275,000 dan 275,000
Mesin HPL 510.2	60,24 dan 66,05	275,000 dan 275,000

3. Skenario ketiga penjadwalan perawatan dilakukan di luar jam produksi dan tingkat keandalan di atas 80%. Penjadwalan dilakukan setiap hari Rabu jam 04:00 WIB, Jumat jam 04:00 WIB, dan hari Sabtu jam 15:15 WIB. Tetapi untuk mesin BST 1720 dan HPL 510.2. penjadwalan dilakukan pada hari Senin sampai dengan Jumat pada jam 04:00 WIB. Dengan tingkat keandalan mesin dan total biaya sebagaimana disajikan pada Tabel 14 berikut:

Tabel 14. Perhitungan Total Biaya *CP* Skenario Ketiga

Nama Mesin	Tingkat Keandalan Mesin (%)	Total Biaya (Rp)
BST 1719	82,84	275,000
	82,84	275,000
	87,25	275,000
BST 1720	91,37	275,000
	82,42	275,000
	82,42	275,000
	82,42	275,000
	82,4	275,000
BST 5007	82,42	275,000
	81,87	275,000
	81,87	275,000
HPL 11	86,52	275,000
	82,42	275,000
	82,42	275,000
HPL 510.1	86,94	275,000
	81,64	275,000
	81,64	275,000
HPL 510.2	86,34	275,000
	92,25	275,000
	84,13	275,000
	84,13	275,000
	84,13	275,000

Pembahasan

Pada bagian ini akan dilakukan pembahasan mengenai pengolahan data yang telah diuraikan sebelumnya.

Perbandingan biaya antara *CF* dan *CP* skenario 1.

Apabila perawatan pencegahan Skenario pertama ini diterapkan di dalam perusahaan, maka efisiensi biaya yang bisa didapat perusahaan adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 15, sedangkan persentase efisiensi biaya disajikan pada Tabel 16 berikut.

Tabel 15. Perbandingan Biaya Perawatan *CF* dan *CP* Skenario Pertama

Mesin	Total Biaya <i>CF</i> (Rp)	Total Biaya <i>CP</i> (Rp)	Penghematan Biaya(Rp)
BST 1719	997,304	275,000	722,304
BST1720	1,294,599	275,000	1,019,599
BST 5007	1,370,450	275,000	1,095,450
HPL 11	1,842,875	275,000	1,567,875
HPL510.1	1,055,799	275,000	780,799
HPL510.2	2,250,443	275,000	1,975,443
Total	8,811,470	1,650,000	7,161,470

Tabel 16. Efisiensi Biaya Untuk Skenario 1

Jenis Mesin	Efisiensi Biaya(%)
BST 1719	72,43
BST1720	78,76
BST 5007	79,93
HPL 11	85,08
HPL510.1	73,95
HPL510.2	87,78
Total	81,27

Tingkat keandalan mesin untuk Skenario pertama disajikan pada Tabel 17 berikut.

Tabel 17. Tingkat Keandalan Mesin Skenario Pertama

Nama Mesin	Usulan Penjadwalan Perawatan	Tingkat Keandalan Mesin(%)
Mesin BST 1719	Senin, jam 04:00 WIB	59,5
Mesin BST 1720	Senin, jam 04:00 WIB	35,7
Mesin BST 5007	Senin, jam 04:00 WIB	57,6
Mesin HPL 11	Senin, jam 04:00 WIB	58,7
Mesin HPL 510.1	Senin, jam 04:00 WIB	57,2
Mesin HPL 510.2	Senin, jam 04:00 WIB	39,8

Dari Tabel 17 di atas nilai rata-rata tingkat keandalan mesin masih di bawah 60%. Bahkan untuk mesin BST 1720 dan HPL 510.2 tingkat keandalan mesin sangat rendah yaitu sebesar 35,7% dan 39,8%.

Dengan tingkat keandalan mesin sebesar ini resiko kerusakan mesin yang dapat menyebabkan proses produksi terhenti masih sangat besar.

Perbandingan biaya antara *CF* dan *CP* skenario 2.

Apabila perawatan pencegahan Skenario kedua ini diterapkan di dalam perusahaan, maka efisiensi biaya yang bisa didapat perusahaan

adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 17, sedangkan persentase efisiensi mesin disajikan pada Tabel 18 berikut.

Tabel 18. Perbandingan Biaya Perawatan *CF* dan *CP* Skenario Kedua

Mesin	Total Biaya <i>CF</i> (Rp)	Total biaya <i>CP</i> (Rp)	Penghematan Biaya (Rp)
BST 1719	997,304	550,000	447,304
BST1720	1,294,599	550,000	744,599
BST 5007	1,370,450	550,000	820,450
HPL 11	1,842,875	550,000	1,292,875
HPL510.1	1,055,799	550,000	505,799
HPL510.2	2,250,443	550,000	1,700,443
Total	8,811,470	3,300,000	5,511,470

Tabel 19. Efisiensi Biaya Untuk Skenario Kedua

Jenis Mesin	Efisiensi Biaya (%)
BST 1719	44,85
BST1720	57,52
BST 5007	59,87
HPL 11	70,16
HPL510.1	47,91
HPL510.2	75,56
Total	62,55

Tingkat keandalan mesin untuk Skenario kedua disajikan pada Tabel 20 berikut.

Tabel 20. Tingkat Keandalan Mesin Skenario Kedua

Nama Mesin	Usulan Penjadwalan Perawatan	Tingkat Keandalan Mesin (%)
Mesin BST 1719	Kamis, jam 04:00 WIB	75,15
	Sabtu, Jam 15:15 WIB	79,15
Mesin BST 1720	Kamis, jam 04:00 WIB	56,72
	Sabtu, Jam 15:15 WIB	62,88
Mesin BST 5007	Kamis, jam 04:00 WIB	73,83
	Sabtu, Jam 15:15 WIB	78,01
Mesin HPL 11	Kamis, jam 04:00 WIB	74,58
	Sabtu, Jam 15:15 WIB	78,66
Mesin HPL 510.1	Kamis, jam 04:00 WIB	73,51
	Sabtu, Jam 15:15 WIB	77,74
Mesin HPL 510.2	Kamis, jam 04:00 WIB	60,24
	Sabtu, Jam 15:15 WIB	66,05

Dari Tabel 20 di atas rata-rata tingkat keandalan mesin sudah mencapai 70%, akan tetapi masih ada satu mesin yang di bawah 60%, yaitu mesin BST 1720 dengan tingkat keandalan 56,72%.

Perbandingan Biaya Antara *CF* dan *CP* Skenario Ketiga

Apabila perawatan pencegahan Skenario ketiga ini diterapkan di dalam perusahaan, maka efisiensi biaya yang bisa di dapat perusahaan adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 21, sedangkan persentase efisiensi biaya disajikan pada Tabel 22 berikut.

Tabel 21. Perbandingan Biaya Perawatan *CF* dan *CP* Skenario Ketiga

Jenis Mesin	Total Biaya <i>CF</i> (Rp)	Total Biaya <i>CP</i> (Rp)	Penghematan Biaya (Rp)
BST 1719	997,304	825,000	172,304
BST1720	1,294,599	1,650,000	0
BST 5007	1,370,450	825,000	545,450
HPL 11	1,842,875	825,000	1,017,875
HPL510.1	1,055,799	825,000	230,799
HPL510.2	2,250,443	1,650,000	600,443
Total	8,811,470	6,600,000	2,211,470

Tabel 22. Efisiensi Biaya Untuk Skenario Ketiga

Jenis Mesin	Efisiensi Biaya (%)
BST 1719	17,28
BST1720	0
BST 5007	39,80
HPL 11	55,23
HPL510.1	21,86
HPL510.2	26,68
Total	25,10

Tingkat keandalan mesin untuk Skenario ketiga disajikan pada Tabel 23 berikut.

Tabel 23. Tingkat Keandalan Mesin Skenario Ketiga

Jenis mesin	Usulan Penjadwalan Perawatan	Tingkat Keandalan Mesin (%)
BST 1719	Senin, jam 04:00 WIB	82,84
	Rabu, jam 04:00 WIB	82,84
	Jumat, jam 04:00 WIB	87,25
BST 1720	Senin, jam 04:00 WIB	91,37
	Selasa, Jam 04:00 WIB	82,42
	Rabu, Jam 04:00 WIB	82,42
	Kamis, Jam 04:00 WIB	82,42
	Jumat, Jam 04:00 WIB	82,42
	Sabtu, jam 05:00 WIB	82,42
BST 5007	Senin, jam 04:00 WIB	81,87
	Rabu, jam 04:00 WIB	81,87
	Jumat, jam 04:00 WIB	86,52
HPL 11	Senin, jam 04:00 WIB	82,42
	Rabu, jam 04:00 WIB	82,42
	Jumat, jam 04:00 WIB	86,94
HPL 510.1	Senin, jam 04:00 WIB	81,64
	Rabu, jam 04:00 WIB	81,64
	Jumat, jam 04:00 WIB	86,34

Tabel 23. Tingkat Keandalan Mesin Skenario Ketiga (lanjutan)

Jenis Mesin	Usulan Penjadwalan Perawatan	Tingkat Keandalan Mesin (%)
HPL 510.2	Senin, jam 04:00 WIB	92,25
	Selasa, Jam 04:00 WIB	84,13
	Rabu, Jam 04:00 WIB	84,13
	Kamis, Jam 04:00 WIB	84,13
	Jumat, Jam 04:00 WIB	84,13
	Sabtu, jam 05:00 WIB	84,13

Usulan penjadwalan Skenario ketiga, adalah usulan penjadwalan yang paling baik, karena tingkat keandalan dari masing-masing mesin yang sangat tinggi sesuai dengan yang diinginkan oleh perusahaan, yaitu tingkat keandalannya untuk setiap jenis mesin di atas 80%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa usulan penjadwalan *preventive maintenance* untuk PT. Wahana Lentera Raya sudah berhasil dibuat. Usulan tersebut menggunakan tiga macam skenario, yaitu:

1. Skenario pertama, penjadwalan *preventive maintenance* dilakukan seminggu sekali dan diluar jam kerja perusahaan, dengan penghematan biaya sebesar Rp. 7.161.470,-

2. Skenario kedua, penjadwalan *preventive maintenance* dilakukan seminggu dua kali dan diluar jam kerja perusahaan, dengan penghematan biaya sebesar Rp. 5.511.470,-
3. Skenario ketiga, penjadwalan *preventive maintenance* dilakukan diluar jam kerja perusahaan, dan tingkat keandalan mesin di atas 80%, dengan penghematan biaya sebesar Rp. 2.211.470,-

Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan adalah data kerusakan mesin sebaiknya dicatat secara teratur, karena untuk menentukan distribusi dari data waktu kerusakan mesin agar lebih akurat dibutuhkan data yang lebih banyak jumlahnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jardine, Andrew. K. S., Tsang, Albert H.C., "*Maintenance, Replacement, and reliability Theory and Applications*", Hlm. 20-24, CRC Press Taylor and Francis Group, New York, 2006
- [2] Kececioglu, D., "*Reliability Engineering Handbook*", Hlm. 80-94, PTR Prentice-Hall,inc., New Jersey, 1991
- [3] Knezevic, J. , "*Reliability, Maintainability and Supportability : A Probabilistic Approach*", Hlm. 35-42. McGraw-Hill International, London, 1993