

Perencanaan Perawatan Mesin Bubut di Lingkungan Laboratorium Geologi Teknik Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Suhartono¹, Sri Mulyaningsih², Iva Mindhayani³

^{1,3} Fakultas Sain dan Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Universitas Widya Mataram
Dalem Mangkubumen KT.III/237 Yogyakarta

Email: sharjosaputro7@gmail.com, ivamindhayani@gmail.com

² Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Jalan Kalisahak No 28 Komplek Balapan Yogyakarta,
email: sri_m@akprind.ac.id

ABSTRAK

Kegiatan pembuatan sayatan tipis batuan di Laboratorium Geologi Teknik Institut Sains & Teknologi (IST) AKPRIND Yogyakarta sangat intensif untuk menunjang kegiatan praktikum mahasiswa dan penelitian dosen dan mahasiswa, terutama untuk penggunaan mesin pemotong dan pengasah batu. Keandalan mesin-mesin tersebut menentukan kualitas produk sayatan yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun perencanaan perawatan mesin, sehingga dapat diprediksi lama penggunaannya dan tingkat keausannya, biaya perawatannya, dan masa penggunaannya. Objek penelitian adalah mesin-mesin bubut (*Lathe Machines*) type *San Yuen sy-gf2000h*. Metode penelitian mencakup penghitungan *Reliability factor*, *maintainability factor*, *availability factor* dan biaya perawatannya. Hasil penelitian adalah nilai keandalan (*Reliability Factor*) mesin bubut adalah 70%, laju kerusakan (λ) = 0,01228 kerusakan/jam, nilai *mean time between failure* (MTBF) adalah 63,335 jam/kerusakan, *mean time between maintenance* (MTBM) adalah 42,22 jam dan lamanya perawatan (*Maintenance*) adalah 2,35 jam. Mesin-mesin bubut di lingkungan Laboratorium Geologi Teknik IST AKPRIND dalam kondisi andal (*Reliability*) yang layak pakai, dan efektif untuk dioperasikan.

Kata kunci: Perencanaan, Perawatan, Mesin, Bubut, Prediksi, Pembiayaan

ABSTRACT

The activity of making thin sections of rock at the Technical Geological Laboratory of the Institute of Science & Technology (IST) AKPRIND Yogyakarta is very intensive to support student practicum activities and research by lecturers and students, especially for the use of cutting machines and stone sharpeners. The reliability of these machines determines the quality of the incision products. This study aims to develop a machine maintenance plan so that it can predict the length of its use and the level of wear, maintenance costs, and the period of use. The object of research is lathe machines type of San Yuen sy-gf 2000h. The research method includes the calculation of reliability factor, maintainability factor, availability factor, and maintenance costs. The results of the research are the reliability factor of the lathe is 70%, the rate of damage (λ) = 0.01228 damage/hour, the mean time between failure (MTBF) is 63.335 hours/damage, the mean time between maintenance (MTBM) is 42.22 hours and the length of treatment (Maintenance) is 2.35 hours. The lathes in the Technical Geological Laboratory of IST AKPRIND are in reliable condition, suitable for use, and effective to operate.

Keywords: *Planning, Maintenance, Machining, Lathe, Prediction, Financing.*

I. PENDAHULUAN

Intensitas penggunaan mesin pemotong dan pengasah batu di Laboratorium Geologi Teknik, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta dapat dikategorikan tinggi. Hal itu terutama ditujukan bagi proses pembuatan sayatan tipis batuan untuk mendukung kegiatan praktikum mata kuliah Mineralografi dan Petrografi bagi mahasiswa Teknik Geologi FTM IST AKPRIND, serta untuk mendukung kegiatan penelitian dosen dan mahasiswa pada program studi yang sama. Berdasarkan sifat batuan, terdapat tiga jenis batuan, yaitu (1) batuan beku, batugamping kristalin, dan batuan metamorf yang bersifat kristalin; (2) batuan sedimen yang bersifat klastika (fragmental); dan (3) batuan ubahan yang bersifat hablur. Dalam aplikasinya, terdapat tiga mesin potong (kasar, sedang, dan halus) dan satu mesin pengasah, yang di dalamnya menggunakan sistem dasar mesin bubut. Mesin-mesin potong dan poles tersebut bekerja sesuai dengan sifat batuan; batuan kristalin memiliki sifat keras dan rigid hingga keras dan massif; batuan sedimen lebih bersifat lunak; dan batuan ubahan yang hablur harus diawali dengan pengerasan lebih dulu untuk dapat dipotong dan diasah. Dalam proses pembuatan sayatan tipis tersebut, diperlukan 3 tahapan pemotongan dan 2 tahapan pemolesan

untuk menghasilkan sayatan tipis dengan dimensi akhir 2,5x4,8cmx0,003mm. Untuk mendapatkan hasil maksimal, pertama-tama batu dipotong kubus dengan ukuran 4x4x4 cm dengan mencari batuan yang paling segar dan mengelupas batuan lapuknya, serta menghilangkan permukaan yang tidak rata. Batu yang telah berbentuk kubus tersebut, selanjutnya di potong lagi hingga berukuran 2,5x4,8 cm, sesuai dengan ukuran slide glass yang dimiliki. Standardnya, ukuran slide glass di Indonesia adalah 2,5x7,6 cm, sedangkan standard internasional untuk penelitian geologi lanjut adalah 2,7x4,6 cm (Innes and Pluth, 1970). Mesin pemotong dan poles yang digunakan di Laboratorium Geologi Teknik menggunakan system mesin bubut manual. Mesin bubut ini biasanya digunakan untuk proses pemotongan pada benda kerja dengan menyayat obyek secara translasi dan sejajar dengan sumbu obyek yang berputar (Syah, Sumirat and Purnawan, 2017). Pembubutan yang dilakukan mesin adalah pembubutan muka (*facing*), untuk menghasilkan permukaan yang halus dan rata, serta pembubutan rata (silindris) untuk menghaluskan dan menipiskan obyek sehingga diperoleh sayatan tipis setebal 0,003 mm.

Permasalahan yang sering muncul pada penggunaan mesin pemotong dan pemoles di laboratorium ini terutama pada mekanisme perawatannya. Hal itu terjadi karena jumlah mesin yang terbatas, sementara penggunaannya secara terus-menerus, dan pengaturan yang selalu berubah. Untuk itu diperlukan skema perencanaan perawatan sehingga tidak mengganggu dalam penggunaannya. Tujuan perencanaan perawatan ini adalah untuk melakukan penilaian tingkat keandalan (*Reliability*) komponen kritis mesin, rata-rata hidup mesin (MTBF), laju kerusakan dan fungsi ketidak-handalan; mengetahui tingkat kesiapan mesin/komponen jika saat dioperasikan; memprediksi waktu kemungkinan terjadinya kerusakan mesin; dan memprediksi besaran biaya perawatan yang diperlukan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian diawali dengan survei lapangan untuk mengenali spesifikasi, system kerja, dan komponen-komponen dalam mesin pemotong dan pemoles yang dimiliki oleh Laboratorium Geologi Teknik, dilanjutkan dengan pengamatan system penggunaan dan dinamisasi kinerja mesin, meliputi tingkat keausan/kerusakan/*time error* mesin, total waktu kerusakan dan total perawatan, banyaknya *preventive maintenance*, jam kerja efektif mesin, *logistic delay time* dan *administrative delay time*, distribusi kerusakan mesin, dan diakhiri dengan uji distribusi kerusakan. Seluruh data dikumpulkan dan dilakukan pengujian kecukupan data secara statistic, selanjutnya dilakukan pengolahan data.

Tahap selanjutnya adalah analisis data pengamatan tersebut. Analisis meliputi menghitung *failure rate*, waktu rata-rata di antara kerusakan, *reliability* (keausan) mesin, waktu rata-rata di antara perawatan, laju perawatan preventif, dan *availability* mesin.

2.1 Metoda Analisis

Perawatan (*maintenance*) adalah kegiatan merawat fasilitas atau peralatan, untuk memastikan fasilitas atau alat tersebut siap pakai sesuai kebutuhan (Syah, Sumirat and Purnawan, 2017). Dengan kata lain perawatan adalah kegiatan dalam rangka mengupayakan fasilitas atau peralatan produksi berada pada kemampuan produksi yang dikehendaki. Terdapat lima komponen perawatan yang dianalisis yaitu: laju kerusakan, fungsi keandalan, *maintainability*, ketersediaan, dan biaya perawatan.

Mengacu pada (Syahabuddin, 2019), (Zubaidi and Syafa'at, 2012), dan (Wibolo, Wahyudi and Sugiarto, 2012), laju kerusakan (λ) dirumuskan sebagai rasio banyaknya kerusakan yang terjadi terhadap jumlah jam (waktu) operasional mesin, yaitu:

$$\lambda = \frac{\text{Banyaknya Kerusakan Terjadi}}{\text{Jumlah Jam Operasi}} \dots\dots\dots (1)$$

Ke depan, istilah-istilah yang akan muncul pada pembahasan selanjutnya adalah (1) MTTF (*Mean Time To Failure*) yaitu waktu rata-rata masa pakai sebelum kegagalan/kerusakan ditemukan, (2) MTBF (*Mean Time Between Failure*) yaitu waktu rata-rata terjadinya kegagalan, (3) MTTR (*Mean Time To Repair*) yaitu waktu rata-rata perawatan, (4) MTBR (*Mean Time Between Repaired*) yaitu waktu rata-rata dari selesainya satu perawatan ke waktu selesai perawatan berikutnya, (5) MDT (*Mean Down Time*) yaitu waktu rata-rata system tidak dapat digunakan, (6) MUT (*Mean Up Time*) yaitu waktu rata-rata system dapat digunakan. (7) Analog MTBF, MCTBF (*Mean Calendar Time Between Failure*), dan MTBOMF (*Mean Time Between Operational Mission Failure*). MTBF dihitung sebagai fungsi terbalik dari laju kerusakannya: $\frac{1}{\lambda}$.

Keandalan $R(t)$ adalah eksponensial dari laju kerusakan (λ) linear terhadap jam operasional (t), $R(t): e^{-\lambda t}$. *Maintainability* dirumuskan sebagai:

- a. Waktu rata-rata di antara perawatan (MTBM), meliputi kebutuhan perawatan preventif (terjadwal) dan perawatan korektif (tidak terjadwal):

$$MTBM = \frac{\text{Total waktu operasi}}{\text{frekuensi pemeliharaan}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Laju perawatan preventif (Fpt) adalah: } \frac{1 - (\lambda \times MTBM)}{MTBM} \dots\dots\dots (3)$$

b. Waktu rata-rata perawatan aktif (M)

$$M = \frac{(\lambda Mct) + (fptMpt)}{\lambda + fpt} \dots\dots\dots(4)$$

$$Mct \text{ (waktu rata-rata perawatan korektif)} = \frac{\text{Totalwaktukrusakan}}{\text{Banyaknyasampeldata}} \dots\dots\dots(5)$$

$$Mpt \text{ (waktu rata-rata perawatan preventif)} = \frac{\text{TotalWaktuPerawatan}}{\text{BanyaknyaSampelData}} \dots\dots\dots(6)$$

c. Mean Down time (MDT) adalah waktu yang digunakan untuk

$$MDT = M + (LDT + ADT) \dots\dots\dots(7)$$

LDT = logistic delay time, ADT= administrative delay time

Ketersediaan (availability) adalah variabel kesiapan system, yaitu derajat, persen, atau probabilitas kesiapan system (Hans,1987 dalam (Thoppil, Vasu and Rao, 2019)). Secara definisi ada 3 macam ketersediaan (availability) yaitu:

a. Inherent Availability (Ai), dinyatakan sebagai:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + Mct} \dots\dots\dots(8)$$

MTBF: Mean Time Between Failure, Mct: Mean Corrective Maintenance Time

b. Achieved Availability (Aa), dinyatakan sebagai:

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + M} \dots\dots\dots(9)$$

MTBM: Mean Time Between Maintenance

c. Operational Availability (Ao), dinyatakan sebagai:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \dots\dots\dots(10)$$

Pada nilai ketersediaan $A_i \geq A_a \geq A_o$ maka diartikan bahwa ketersediaan data konsisten atau memadai.

Biaya Perawatan disebut juga *preventive maintenance*, dilakukan untuk menjamin kelancaran proses produksi, disebut juga faktor-faktor dan jumlah biaya yang akan dikeluarkan (Zubaidi and Syafa'at, 2012), (Wiendahl, 1995), (Syahabuddin, 2019). Biaya perawatan korektif tersebut adalah :

$$TCr = \frac{NC}{\sum_{i=1}^j iP_i} \dots\dots\dots(11)$$

TCr adalah biaya perawatan korektif bulanan, Pi: kemungkinan munculnya suatu kerusakan, dan NC: biaya reparasi semua mesin. Sebelumnya harus menghitung perkiraan jumlah kerusakan terlebih dahulu dengan rumus sebagai berikut :

$$B_n = N \sum_i P_n + B_{(n-1)}P_1 + B_{(n-2)}P_2 + B_{(n-3)}P_3 + \dots\dots B_1 P_{(n-1)} \dots\dots\dots(12)$$

B_n : ekspektasi jumlah kerusakan, N: jumlah mesin, dan P_n : probabilitas mesin rusak dalam periode n Selain penggantian elemen mesin yang rusak, biaya perawatan korektif juga mencakup pembelian pelumas dan *grease* (Dinata, 2019), (Nurhadiyanto, 2002), (Dewangga, Nugraha and Dantes, 2017).

$$\text{Biaya pelumas} = \left(\frac{0,75N}{195,5} + \frac{C}{t} \right) X_1 (\text{Rp/jam}) \dots\dots\dots(13)$$

X_1 : harga minyak pelumas/liter, N: daya *output engine* (HP), C: kapasitas *carter olie* = 0,15 N (liter), dan t: 2000 jam

6

$$\text{Biaya pemberian grease} = 0,3.10^{-4}NX_2 (\text{Rp/Jam}) \dots\dots\dots(14)$$

N: daya *engine* (HP) dan X_2 : harga *grease* (Rp/kg)

Umur Pemakaian *Spare Part* dihitung mengacu pada (Dinata, 2019), (Nurhadiyanto, 2002), (Dewangga, Nugraha and Dantes, 2017):

$$\text{Usia kegunaan } L_h = 500 * f_n^3 \dots\dots\dots(15)$$

$$\text{Faktor Umur } f_n = \text{fn } C / P \dots\dots\dots(16)$$

$$\text{Faktor Kecepatan } f_n = \left[\frac{33,3}{n} \right]^{1/3} \dots\dots\dots(17)$$

f_n : faktor umur, L_h : umur pemakaian, f_n : faktor kecepatan, C: beban nominal dinamis spesifik (Kg), dan P: beban ekuivalen (Kg).

Persediaan *Spare Part* dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Maksimum persediaan } (N_1) \text{ spare part adalah } N_1 = (n * t * a) / (k * s) \dots \dots \dots (18)$$

$$\text{Minimum persediaan } N_2 = N_1 / 4 \dots \dots \dots (19)$$

n: jumlah komponen yang sama dalam satu mesin, t: waktu/umur elemen mesin, s: rata-rata penggunaan mesin, a: jumlah mesin yang sejenis, dan k: faktor koreksi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan dan pencatatan data waktu penggunaan mesin, dan dengan menggunakan persamaan (1) sampai (7) waktu perawatan preventif, dan perawatan korektif disajikan dalam Tabel 1. Data ini dikumpulkan selama tahun 2020, penggunaan rata-rata per bulan adalah 172 kali atau per hari adalah 7 kali, dengan asumsi hari Sabtu dan Minggu tidak dioperasikan. Bulan Februari dan November memiliki jumlah penggunaan yang lebih rendah, karena pada kedua bulan itu adalah masa ujian akhir, sehingga pengguna didominasi oleh penelitian dosen dan mahasiswa skripsi. Perawatan preventif mesin dalam setahun dilaksanakan dalam 9x atau per 1-2 bulan, dengan waktu perawatan rata-rata adalah 2 jam, waktu yang digunakan mesin berhenti beroperasi untuk menunggu kedatangan spare part rata-rata dan dalam rangka administrative adalah 0,5 jam tiap bulannya. Waktu rata-rata untuk perawatan korektif pada tiap-tiap bulannya mengalami fluktuatif yang tidak ditentukan oleh waktu penggunaan mesin; total waktu kerusakan rata-rata per bulan adalah 4 jam 20 menit, banyaknya kerusakan yang didapatkan per bulan antara 1-2 elemen pada tiap-tiap bulannya, sehingga lamanya waktu mesin beroperasi baik karena factor administrative maupun menunggu kedatangan spare part tiap-tiap dijumpai kerusakan adalah 1 jam ~10 menit.

Tabel 1. Data jam kerja efektif mesin pada tahun 2020

Bulan	Jam kerja efektif (jam)	<i>Preventive Maintenance</i>			<i>Corrective Maintenance</i>		
		Total waktu perawatan (jam)	Banyaknya Perawatan	LDT+ADT (jam)	Total waktu kerusakan (jam)	Banyaknya kerusakan	LDT + ADT (jam)
Januari	175	2	1	0,75	7	3	1
Februari	147				5	2	1
Maret	182	1,25	2	0,5	4,3	1	0,5
April	175	0,50	1	0,15	3	1	0,65
Mei	168				4	2	1,3
Juni	175	2	1	0,5	5,85	2	1
Juli	189	2	2	0,1	2,5	1	0,70
Agustus	175				6,35	1	3
September	175				4,2	1	1,5
Oktober	175	2,5	1	0,5	4	2	1,2
November	147				2	1	0,75
Desember	182	1	1	0,1	4	1	1
Jumlah	2065	11,25	9	2,6	52,2	18	13,6

Dengan menggunakan persamaan-persamaan (8) hingga (12), ditentukan distribusi kerusakan mesin, yaitu Range = Data tertinggi – data terendah, diperoleh nilai 7 - 2 = 5. Jumlah kelas interval (K) adalah 1+3,3 Log n yaitu 1 + 3,3 Log 12 = 4,56 ≈ 5, dan lebar kelas interval (I) adalah nilai kisaran interval kerusakan berbanding jumlah kelas interval, yaitu 5:4,56 atau 1,11. Nilai distribusi frekuensi waktu antar kerusakan mesin disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi frekuensi waktu antar kerusakan mesin

Kelas	Interval	Frekuensi (Fi)	Kumulatif (F)	Probabilitas (Pi)	Kesalahan (Ei)	Kuadrat data kerusakan (X ²)
1	2 – 2,9	2	2	0,166	1,992	3,2 x 10 ⁻⁵
2	3 – 3,9	1	3	0,083	0,996	1,6 x 10 ⁻⁵
3	4 – 4,9	5	8	0,416	4,992	1,3 x 10 ⁻⁵
4	5 – 5,9	2	10	0,166	1,992	3,2 x 10 ⁻⁵
5	6 - 7	2	12	0,166	1,992	3,2 x 10 ⁻⁵
$\sum f = 12$						12,5 x 10 ⁻⁵

Pengujian bentuk distribusi setiap model merepresentasikan system kerja model tersebut. Model pengujian bentuk distribusi ini untuk menentukan model distribusi yang mengikuti pola eksponensial (Ho) dan yang tidak mengikuti pola eksponensial (Hi). Diketahui, untuk taraf nyata (α) ditetapkan bernilai 0,05, dengan nilai probabilitas $P_1 = (2/12) * 100\% = 0,166$ dan $P_2 = 1/12 * 100\% = 0,083$. Ho diterima apabila $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$. Nilai derajat kebebasannya adalah;

$$V = K - P - 1 ; P = 1$$

$$V = 5 - 1 - 1 = 3$$

Dari Tabel 2 Chi – square (χ^2) diperoleh nilai $\chi^2_{(0,05,3)} = 7,815$. Jadi $12,5 \times 10^{-5} < 7,815$. Hal ini berarti $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$ sehingga Ho diterima artinya bahwa distribusi *corrective maintenance time* mengikuti pola distribusi eksponensial. Nilai parameter *reliability factor*, *maintainability factor* dan *availability factor* ditentukan menggunakan persamaan 11-14, yaitu 0,01228 kerusakan/jam dan maintainability factor sebesar 63,335 jam/kerusakan (Tabel 3).

Tabel 3. Nilai parameter *reliability factor* untuk mesin potong

<i>Maintainability factor</i>	Hasil perhitungan
MTBM	42,22 Jam
Fpt	0,007896 Perawatan/jam
Mct	2,9 Jam
Mpt	1,25 Jam
M	2,35 Jam
MDT	2,95 Jam
<i>Reliability factor</i>	
$\lambda(t)$	0,01228 kerusakan/jam
MTBF	63,335 jam/kerusakan
R(t)	70%

Tabel 4. Nilai parameter *maintainability factor* dan *availability factor* untuk mesin poles

<i>Maintainability factor:</i>	
MTBM	42,22 Jam
Fpt	0,007896 Perawatan/jam
Mct	2,9 Jam
Mpt	1,25 Jam
M	2,35 Jam
MDT	2,95 Jam
<i>Availability factor</i>	
<i>Inherent Availability</i>	0,756
<i>Achieved Availability</i>	0,747
<i>Operational Availability</i>	0,735

Biaya Perawatan Mesin

Besarnya biaya pelaksanaan pemeliharaan preventif untuk satu mesin adalah Rp. 60.000,00. Sedangkan biaya perbaikan suatu kerusakan adalah Rp 385.000,00. Setelah diketahui jumlah mesin yang rusak selama tahun 2004, maka probabilitas terjadinya kerusakan mesin dapat dihitung sebagai berikut :

Bulan Januari 2022 adalah $3 / 18 \times 100\% = 0,167$. Dari perhitungan di atas dapat diketahui kemungkinan kumulatif yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data kemungkinan kerusakan mesin pemotong dan pemoles batu *type SAN YUEN SY – GF 2000H*

Bulan	Jumlah mesin yang rusak	Kemungkinan kerusakan	Kumulatif kemungkinan
Januari	3	0,167	0,167
Februari	2	0,111	0,278
Maret	1	0,056	0,334
April	1	0,056	0,39
Mei	2	0,111	0,501
Juni	2	0,111	0,612
Juli	1	0,056	0,668
Agustus	1	0,056	0,724
September	1	0,056	0,78
Oktober	2	0,111	0,891
November	1	0,056	0,947
Desember	1	0,056	1

$$B_1 = NP_1 = (5)(0,167) = 0,835 \text{ Mesin}$$

Jadi rata – rata kemungkinan kerusakan untuk bulan Januari adalah $0,83 / 1 = 0,835$.

$$B_{12} = N(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12}) + B_{11}P_1 + B_{10}P_2 + B_9P_3 + B_8P_4 + B_7P_5 + B_6P_6 + B_5P_7 + B_4P_8 + B_3P_9 + B_2P_{10} + B_1P_{11} = 5 (1)+8,55(0,167)+7,54 (0,111) + 6,43 (0,056) + 5,56 (0,056) + 4,92 (0,111) + 4,18 (0,111) + 3,28 (0,056) + 2,5(0,056) + 2,02 (0,056) + 1,529(0,111) + 0,835 (0,056) = 9,60 \text{ Mesin.}$$

Jadi rata – rata kemungkinan kerusakan untuk bulan Desember adalah 0,8.

Tabel 6.Perhitungan biaya – biaya pemeliharaan untuk duabelas periode pemeliharaan yang berbeda

<i>Preventive Maintenance</i> tiap M Bulan (a)	Jumlah kerusakan yang diperkirakan dalam M Bulan (b)	Jumlah rata-rata kerusakan per bulan (b/a = c)	Biaya kerusakan diperkirakan per bulan c*Rp. 385.000 = d	Biaya pemeliharaan preventif yang diperkirakan per bulan (1/M * Rp.60.000 * 5)= e	Biaya kebijakan pemeliharaan bulanan total yang diperlukan (d + e)Rp =f
1	0,835	0,835	321.475,-	Rp. 300.000,-	621.475,-
2	0,529	0,265	102.025,-	Rp. 150.000,-	252.025,-
3	2,02	0,673	259.233,-	Rp. 100.000,-	359.233,-
4	2,50	0,625	240.625,-	Rp. 75.000,-	315.625,-
5	3,28	0,656	252.560,-	Rp. 60.000,-	312.560,-
6	4,18	0,697	268.345,-	Rp. 50.000,-	318.345,-
7	4,92	0,702	270.270,-	Rp. 42.875,-	313.145,-
8	5,56	0,695	267.575,-	Rp. 37.500,-	305.075,-
9	6,43	0,714	274.890,-	Rp. 33.333,-	308.223,-
10	7,54	0,754	290.290,-	Rp. 30.000,-	320.290,-
11	8,55	0,777	299.145,-	Rp.27.273,-	326.418
12	9,60	0,8	308.000,-	Rp. 25.000,-	333.000

$$\text{Biaya perawatan korektif : } TCr = \frac{(5)(Rp385.000,00)}{5,744} = \text{Rp } 335.132,00 / \text{ bulan.}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya pelumas} &= \left(\frac{0,75N}{195,5} + \frac{C}{t} \right) X_1(\text{rp/jam}) \\ &= \left(\frac{0,75 \times 50}{195,5} + \frac{7,5}{2000} \right) 9000 = \text{Rp } 1.760,093 / \text{ Jam} \end{aligned}$$

$$\text{Biaya Pemberian Grease} = 0,3 \cdot 10^{-4} \cdot 50 \cdot 70.250 = \text{Rp } 105,375 / \text{ jam}$$

Perhitungan umur pemakaian *spare part* (Bearing 6008)

$$\text{Faktor Kecepatan } f_n = \left[\frac{33,3}{500} \right]^{1/3} = 0,409$$

$$\text{Faktor Umur } f_h = 0,409 \times \frac{1310}{156} = 3,435$$

$$\text{Usia kegunaan } L_h = 500 (3,435)^3$$

Hasil selengkapnya ada pada Tabel 7.

Tabel 7. Umur pemakaian *bearing*

<i>Bearing</i>	N (rpm)	C (Kg)	P (Kg)	Umur Pemakaian (L _h)
6008	500	1310	156	20257 Jam
6009	500	1640	193	20989 Jam
6201	500	535	63	20945 Jam

Persediaan *Spare Part*

$$N_1 = (3 * 5000 * 5) / (5 * 210) = 71 \text{ Unit } N_2 = N_1 / 4 = 71 / 4 = 17,75 \approx 18 \text{ Unit}$$

Hasil pengujian distribusi waktu antar kerusakan mengikuti distribusi eksponensial pada mesin - mesin bubut. Parameter dari data waktu antar kerusakan untuk distribusi eksponensial adalah λ . Dari hasil perhitungan dan analisis kerusakan; mesin – mesin bubut memiliki laju kerusakan $\lambda(t) = 0,015789$ kerusakan / jam, waktu rata – rata di antara kerusakan (MTBF) = 63,335 jam / kerusakan dan nilai *reliability* sebesar 90 %. Hal ini berarti mesin - mesin bubut tersebut diperkirakan akan mengalami kerusakan setiap 63,335 jam dan mesin-mesin potong tersebut membutuhkan perawatan rutin meskipun dikategorikan handal karena memiliki keandalan (*reliability*) dalam prosentase menengah. Berdasarkan hasil analisis *maintainability* waktu rata – rata di antara perawatan (*Mean Time Between Maintenance*) = 42,22 jam dan waktu rata – rata pemeliharaan aktif (M) = 2,35 Jam, berarti setiap 42,22 Jam mesin membutuhkan perbaikan selama 2,35 Jam untuk menjaga keandalannya. Nilai *Inherent Availability* (A_i) sebesar 0,956, *Achieved Availability* (A_a) sebesar 0,947 dan *Operational Availability* (A_o) sebesar 0,935, diartikan bahwa kesiapan mesin dalam bekerja di lapangan dan dinyatakan memiliki konsistensi dengan nilai konsistensitivitas $A_i \geq A_a \geq A_o$. Dari hasil perhitungan *maintenance cost* per bulan, nilai total *maintenance cost* terkecil adalah Rp. 252.025,00. Jadi, gambaran perencanaan perawatan terencana tersebut dapat segera disusun sesuai dengan kebutuhan mesin, tetapi tetap ekonomis sehingga didapatkan perawatan baik preventif maupun korektif yang efektif dan efisien.

IV. SIMPULAN

Kegiatan perencanaan *maintenance* ini secara teknis dapat diaplikasikan dengan lebih mudah dan secara ekonomis, untuk mendapatkan system perawatan preventif dan korektif yang efektif dan efisien. Di awal penyusunan rencana kerja dan anggaran tahunan (RKAT) hal itu dapat lebih akurat terutama ketika kondisi keuangan laboratorium yang makin menipis. Laboratorium juga dapat memperkirakan tingkat keandalan mesin; tingkat keandalan mesin yang tinggi dapat menekan laju kerusakan mesin, sehingga dapat meminimalkan pengeluaran. Kegiatan *Maintenance* yang sering tumpang-tindih dengan biaya operasional laboratorium dapat disusun perencanaannya dengan laboratorium lain yang memiliki spesifikasi mesin yang sama. Dari hasil analisis dan pembahasan memberikan gambaran perencanaan perawatan yang terencana sesuai dengan kebutuhan mesin, ekonomis dengan system perawatan preventif dan korektif yang efektif dan efisien..

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada semua pihak di Laboratorium Geologi Teknik, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains & teknologi AKPRIND Yogyakarta atas kesempatan dan ijin yang telah diberikan, hingga penelitian dapat terselenggara dengan baik dan berhasil. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Jurusan Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Widy Mataram atas kesempatan dan ijin yang juga telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewangga, S. P. F., Nugraha, I. N. P. and Dantes, K. R. (2017) ‘Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran Mesin Bubut Terhadap Keausan Pada Alat Potong Pahat Hsstipe Bohler Mo 1/2x4’, *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 5(1).
- Dinata, G. G. S. (2019) ‘Perancangan Sistem Kendali Pemberian Fluida Permesinan Berbasis MQL pada Mesin Bubut dan Analisis Performanya’. Program Studi Strata 1 Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Innes, R. P. and Pluth, D. J. (1970) ‘Thin section preparation using an epoxy impregnation for petrographic and electron microprobe analysis’, *Soil Science Society of America Journal*, 34(3), pp. 483–485.
- Nurhadiyanto, D. (2002) ‘Analisis Pengaruh Kecepatan Pemakanan Dan Kedalaman Potong Terhadap Temperatur Pahat Pada Mesin Bubut’, *Staf Pengajar FT UNY*, 7(1), pp. 69–78.
- Syah, I. U., Sumirat, U. and Purnawan, P. (2017) ‘Pencapaian Kompetensi Siswa SMK dalam Praktik Bekerja dengan Mesin Bubut’, *Journal of Mechanical Engineering Education*, 4(1), pp. 66–73.
- Syahabuddin, A. (2019) ‘Analisis Perawatan Mesin Bubut Cy-L1640G Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) Di Pt. Polymindo Permata’, *JITMI (Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri)*, 2(1), pp. 27–36.
- Thoppil, N. M., Vasu, V. and Rao, C. S. P. (2019) ‘Failure mode identification and prioritization using FMECA: a study on computer numerical control lathe for predictive maintenance’, *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 19(4), pp. 1153–1157.
- Wibolo, A., Wahyudi, S. and Sugiarto, S. (2012) ‘Optimasi parameter pemotongan mesin bubut cnc terhadap kekasaran permukaan dengan geometri pahat yang dilengkapi chip breaker’, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(1), pp. 55–63.
- Wiendahl, H.-P. (1995) *Load-oriented manufacturing control*. Springer.

Zubaidi, A. and Syafa'at, I. (2012) 'Analisis pengaruh kecepatan putar dan kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan material FCD 40 pada mesin bubut CNC', *Momentum*, 8(1).