

Analysis of Bearing Maintenance in Centrifugal Pumps Between Bearings

Analisis Perawatan Bearing Pada Pompa Sentrifugal Between Bearing

Dodik Hari Dewanto¹⁾, A'rasy Fahrudin^{*2)}

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Dosen Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: a'rasy.fahrudin@umsida.ac.id

Abstract. *PT. Java Pacific is a steel factory that requires a centrifugal pump between bearings to circulate cooling water in the engine gearbox in the production machine. This research aims to compare theoretical calculations with the actualization that occurs for the 6311 bearing in the centrifugal pump between bearings. Comparisons are made based on the service life of the bearing compared to the actual conditions that occur in the field. This difference will be used as a basis for creating a preventive maintenance plan (preventative maintenance) that focuses on predicting bearing replacement. Centrifugal pumps are a type of dynamic pump with an impeller that converts mechanical energy from the pump into speed energy. Unexpected damage in the field is a common problem, one of the damages to centrifugal pumps between bearings is in the bearing section.*

Keywords - bearings; bearing maintenance; centrifugal pump; bearing life

Abstrak. *PT. Java Pacific merupakan pabrik baja yang membutuhkan pompa sentrifugal between bearing untuk melakukan sirkulasi air pendingin pada gearbox mesin yang ada di mesin produksi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perhitungan teoritis dengan aktualisasi yang terjadi untuk bearing 6311 pada pompa sentrifugal between bearing. Perbandingan dilakukan berdasarkan umur pakai dari bearing tersebut dibandingkan dengan kondisi aktual yang terjadi di lapangan. Perbedaan ini akan digunakan sebagai dasar untuk membuat rencana pemeliharaan pencegahan (pemeliharaan preventif) yang berfokus pada prediksi penggantian bearing. Pompa sentrifugal adalah jenis pompa dinamis dengan impeller yang mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan. Kerusakan yang tidak terduga di lapangan adalah masalah umum, salah satu kerusakan pada pompa sentrifugal between bearing adalah dibagian bearing atau bantalan.*

Kata Kunci - bearing; perawatan bearing; pompa sentrifugal; umur bearing

I. PENDAHULUAN

Pompa sentrifugal banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan bidang lain. Pompa ini bekerja dengan mengubah energi mekanik menjadi tekanan atau energi kinetik.[1] Perusahaan ini menggunakan pompa sentrifugal untuk sirkulasi pendinginan pada gearbox mesin. Alat yang digunakan untuk mempermudah pekerjaan manusia, terutama untuk memindahkan benda yang berupa fluida cair, dikenal sebagai pompa.[2]

Pompa sentrifugal adalah pompa yang memanfaatkan gaya sentrifugal di hasilkan dari impeller untuk memindahkan cairan dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi atau dari tekanan yang rendah ke tekanan yang lebih tinggi.[3] Ada beberapa jenis pompa sentrifugal, perusahaan ini menggunakan jenis pompa sentrifugal between bearing

Penelitian ini berfokus pada masalah yang sering terjadi pada pompa sentrifugal dan cara menentukan strategi perawatan pompa sentrifugal karena melakukan kegiatan perawatan pada pompa sentrifugal sebelum terjadi kerusakan sangat penting bagi industri.[4] Pada pompa sentrifugal salah satu komponen yang penting adalah bearing, karena bearing sebagai penumpu poros untuk menggerakkan impeller pada pompa sentrifugal.[5]

Bearing adalah komponen mesin yang berfungsi untuk mengurangi gesekan yang terjadi di antara bagian mesin yang berputar dan yang diam. Bearing dirancang untuk mengurangi keausan, dapat diganti, dan mencegah kerusakan pada bagian mesin yang mahal.[6] Salah satu kerusakan pompa yang paling penting adalah kerusakan bearing. Ini karena kerusakan pada bearing pompa akan menyebabkan perputaran poros pompa, yang berdampak pada debit air yang dapat dialirkan pompa.[7]

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi ketahanan dan perawatan bearing pompa sentrifugal between bearing, maka dari itu Untuk mencapai tujuan kita harus melakukan hal-hal berikut, menghitung umur pakai bearing pada pompa sentrifugal, memperbandingkan data actual di lapangan, dan memilih perawatan yang paling sesuai.[8]

II. METODE

A. Metode Penelitian

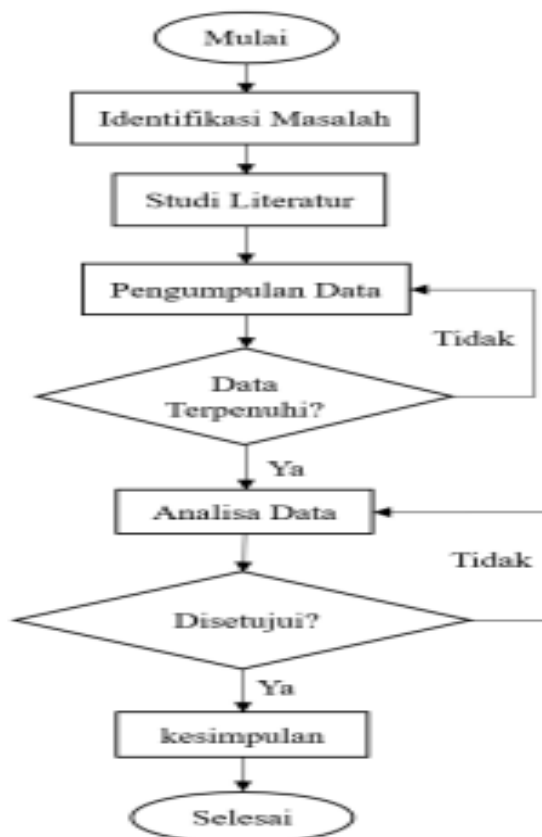
Metode pengumpulan data yang dipakai dalam penelitian adalah metode observasi, Metode observasi adalah salah satu metode pengumpulan data yang dilakukan melalui pengamatan dan berbagai catatan tentang keadaan atau perilaku objek sasaran. Metode observasi juga dapat didefinisikan sebagai aktivitas terhadap proses atau objek yang dimaksud dengan merasakan dan memahami pengetahuan tentang fenomena. Ini dilakukan untuk meningkatkan pengetahuan dan konsep yang sudah diketahui untuk mendapatkan lebih banyak informasi yang diperlukan untuk penelitian yang lebih lanjut.



Gambar 1. Pompa Sentrifugal

B. Diagram Alir

Dalam penelitian ini, langkah-langkah proses penelitian akan dijelaskan dalam diagram alir (*flow chart*), Diagram alir (*flow chart*) dapat dilihat gambar tersebut.



Gambar 2. Diagram alir (Flow chart)

C. Waktu Dan Lokasi Penelitian

Penelitian atau observasi ini dilakukan di PT. Java Pacific yang beralamatkan di Jl Raya Surabaya-Krian KM 24-25, Desa Keboharan, Krian, Sidoarjo, Jawa Timur di bagian pompa sentrifugal between bearing pada bulan februari 2022.

D. Obyek Penelitian

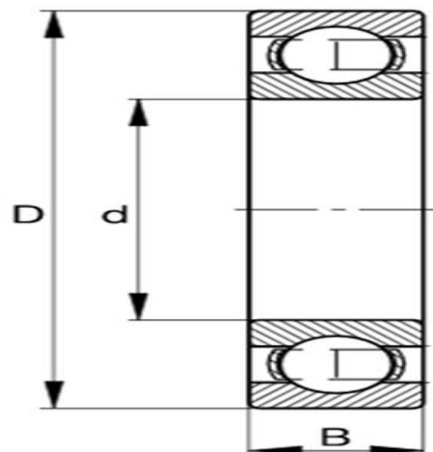
Obyek penelitian ini untuk dapat mengidentifikasi faktor kerusakan dan melakukan perencanaan preventive maintenance pada bearing dengan menghitung umur bearing dan membandingkan dengan data aktual dilapangan.

- **Bearing**

Dalam penelitian ini, kami menggunakan jenis bantalan (bearing) yang biasa digunakan pada pompa sentrifugal between bearing dan biasanya memiliki ukuran utama standar sebagai acuan. Jenis bearing yang digunakan pada pompa sentrifugal between bearing yaitu Single row deep groove ball bearings dengan kode 6311.[9]



Gambar 3. Bearing 6311



Gambar 4. Sketsa Bearing 6311

Bore diameter	: 55 mm
Outside diameter	: 120 mm
Width	: 29 mm
Basic dynamic load	: 74,1 kN
Basic static load	: 45 kN
Reference speed	: 12.000 r/min
Limiting speed	: 5.000 r/min. [10]

- **Motor Listrik Pada Pompa**

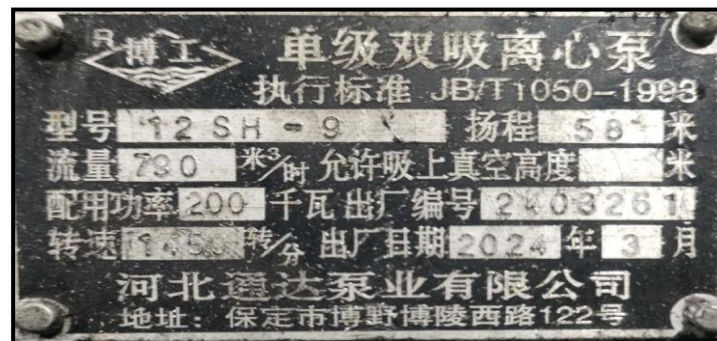
Mesin yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik adalah motor listrik. Motor listrik digunakan sebagai penggerak untuk menggerakkan poros menuju pompa sentrifugal.[11]

Tabel 1. Spesifikasi Motor Pompa Listrik

Power	80 HP
Phases	3
Speed	1430 rpm
Voltage	380 Volt

- **Pompa Sentrifugal Between Bearing**

Pompa tersebut porosnya berada diantara dua penahan yang disebut dengan bantalan (bearing)



Gambar 5. Name Plate Pompa Sentrifugal Between Bearing

E. Teknik Analisa Data

- **Perhitungan Umur Bearing**

Untuk memilih bantalan, Anda harus mengetahui berapa umur bantalan saat menerima gaya, Untuk Menghitung rating usia ball bearing dapat dilakukan dengan persamaan :

$$L_{10} = \left(\frac{c}{P}\right)^b \cdot \frac{10^6}{n \cdot 60} \text{ jam} \quad (1)$$

Dimana:

C = gaya yang bekerja pada poros

P = beban ekivalen

n = putaran poros

b = 3 untuk ball bearing dan 3,33 untuk cylindrical roller bearing.

$$P = x \cdot F_r + y \cdot F_a \quad (2)$$

Fr = gaya radial

Fa = gaya aksial

v = factor ring 1 jika ring dalam berputar, dan 1,2 jika ring luar berputar

y = gaya aksial (y)

x = gaya radial (x), atau

$$L = \left(\frac{C}{W}\right)^k \times 10^6 \quad (3)$$

Dimana:

L = Rating life

C = Basic dynamic load rating

W = Equivalent dynamic load

- k = 3, for ball bearings
 = 10/3 for roller bearing. [12]

$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_{0r}}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
0.172	0.19				2.30
0.345	0.22				1.99
0.689	0.26				1.71
1.03	0.28				1.55
1.38	0.30	1	0	0.56	1.45
2.07	0.34				1.31
3.45	0.38				1.15
5.17	0.42				1.04
6.89	0.44				1.00

Gambar 6. Tabel faktor x,y [13]

- **Menghitung Nilai Keandalan Bearing**

Merupakan nilai yang dapat menunjukkan seberapa besar komponen mesin dapat beroperasi dengan baik. Menentukan nilai keandalan dapat dimulai sebagai berikut :

Menghitung laju kegagalan : $MTBF = 1/\lambda$, Selanjutnya menghitung waktu gagal berfungsi bearing:

Waktu gagal berfungsi (t)= $MTBF - (L_{10h})$

Terakhir melakukan penghitungan nilai keandalannya yaitu : $R(t) = 1/(1 + \lambda t)$

Jika sudah mengetahui tingkat keandalan bisa dilakukan perhitungan nilai probabilitas kegagalannya : $F(t) = 1 - R(t)$

Berikut adalah kisaran nilai yang menunjukkan keandalan suatu komponen mesin :

Tabel 2. Nilai Tingkat Keandalan

Besar nilai R (%)	Interpretasi
0 – 20	Sangat rendah
20 -40	Rendah
40 – 60	Sedikit rendah
60 – 80	Cukup
80 - 100	Tinggi

- **Perawatan Bearing**

Berikut cara melakukan perawatan bearing :

- Pemilihan bearing yang tepat
- Pelumasan secara berkala
- Monitoring suhu operasional
- Membersihkan dan melindungi bearing
- Menghindari beban berlebihan
- Memeriksa dan mengganti bearing yang rusak.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Basic Dynamic Load Rating

Basic Dynamic Load Rating atau C adalah salah satu parameter penting dalam perhitungan umur bearing. Nilai ini menunjukkan beban konstan yang dapat diterima oleh bearing selama satu juta putaran dengan keandalan tertentu (biasanya 90%). Nilai C untuk bearing 6311 berdasarkan katalog NTN adalah 74.1kN.

Rumus untuk menghitung umur bearing (L_{10}) adalah sebagai berikut:

dimana:

L_{10} = Umur bearing dalam jam

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^b \cdot \frac{10^6}{n \cdot 60} \text{ jam}$$

Dimana :

C = Basic dynamic load rating (74.1kN)

P = Beban ekuivalen (kN)

B = Eksponen umur, yaitu 3 untuk ball bearing

Nilai C digunakan sebagai dasar dalam menghitung berapa lama bearing dapat beroperasi sebelum mengalami kerusakan yang signifikan. Dengan mengetahui C, kita dapat memprediksi kapan bearing harus diganti untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada mesin.

B. Menghitung Beban Radial dan Aksial

Dalam perhitungan beban pada bearing, dua jenis beban utama yang perlu diperhitungkan adalah beban radial (F_r) dan beban aksial (F_a). Beban radial adalah beban yang bekerja tegak lurus terhadap poros bearing, sedangkan beban aksial adalah beban yang bekerja sejajar dengan poros bearing.

Untuk menghitung beban ekuivalen (P) pada bearing, digunakan rumus:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

dimana:

P = Beban ekuivalen

F_r = Beban radial

F_a = Beban aksial

X dan Y = Faktor-faktor yang tergantung pada jenis bearing dan kondisi operasional. Untuk bearing 6311 (single row deep groove ball bearings), nilai X biasanya adalah 1 dan nilai Y tergantung pada rasio F_a/F_r .

1. Menghitung Beban Radial (F_r) dan Beban Aksial (F_a)

Untuk menghitung F_r dan F_a , kita membutuhkan data operasional dari mesin, seperti beban total yang bekerja pada bearing dan arah beban tersebut. Misalkan data operasional yang kita miliki adalah sebagai berikut:

- Total beban yang bekerja pada bearing: 5 kN
- Sudut beban: 45°

Dari data ini, kita bisa menghitung F_r dan F_a dengan menggunakan trigonometri dasar:

$$F_r = \text{Total Beban} \times \sin(\theta)$$

$$F_a = \text{Total Beban} \times \cos(\theta)$$

2. Menghitung nilai F_r dan F_a :

$$\begin{aligned} F_r &= 5 \text{ kN} \times \sin(45^\circ) \\ &= 5 \text{ kN} \times 0.7071 = 3.5355 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_a &= 5 \text{ kN} \times \cos(45^\circ) \\ &= 5 \text{ kN} \times 0.7071 = 3.5355 \text{ kN} \end{aligned}$$

C. Menghitung Beban Ekuivalen

Beban ekuivalen (P) pada bearing dihitung untuk menentukan beban total yang diterima oleh bearing selama operasi. Rumus untuk menghitung beban ekuivalen adalah:[14]

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

dimana:

P = Beban ekuivalen (kN)

F_r = Beban radial (kN)

F_a = Beban aksial (kN)

X dan Y = Faktor-faktor yang tergantung pada jenis bearing dan kondisi operasional.

Untuk bearing 6311 (single row deep groove ball bearings), nilai X adalah 1 dan nilai Y tergantung pada rasio F_a/F_r . Untuk bearing 6311, $X=0.06$ dan $Y=1.71$, $F_r = 3.5355 \text{ kN}$, dan $F_a = 3.5355$

Menghitung beban ekuivalen (P):

$$P = X \cdot Fr + Y \cdot Fa = 0.06 \cdot 3.5355 + 1.71 \cdot 3.5355 = 0.20 + 5.25 = 5.45 \text{ kN}$$

D. Menentukan Umur Bearing

Umur bearing (L₁₀) dapat ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^b \cdot \frac{10^6}{n \cdot 60} \text{ jam}$$

dimana:

- L_{10h} = Umur bearing dalam jam
- C = Basic dynamic load rating (74.1kN)
- P_o = Beban ekuivalen (5.45 kN)
- b = Eksponen umur, yaitu 3 untuk ball bearing
- n = Putaran Poros (5,000 r/min) [15]

Menghitung umur bearing (L₁₀):

$$L_{10h} = \left(\frac{74.1}{5.45}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{5000 \cdot 60}$$

$$L_{10h} = 13,60^3 \cdot 3,33$$

$$L_{10h} = 2.513,42 \cdot 3,33$$

$$L_{10h} = 8.378,07 \text{ Jam}$$

Hasil ini menunjukkan bahwa umur bearing adalah 8,378.07 jam. atau 0,96 Tahun. Namun, perlu diperhatikan bahwa umur ini adalah perkiraan berdasarkan perhitungan teoritis, dan kondisi operasional sebenarnya seperti keausan, pelumasan, dan beban dinamis yang berubah-ubah dapat mempengaruhi umur bearing tersebut.

E. Analisis Ketahanan dan Perawatan Bearing

Analisis Ketahanan

1. Perkiraan Umur Bearing:

Berdasarkan perhitungan teoritis, umur bearing (L_{10h}) untuk bearing tipe 6311 adalah adalah **8.378,07 jam. atau 0,96 Tahun**. Ini adalah estimasi umur berdasarkan beban ekuivalen dan putaran poros yang konsisten. Namun, ini hanya estimasi teoretis yang tidak memperhitungkan faktor-faktor eksternal lainnya.

2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Umur Bearing:

- a. Beban Operasional: Beban aktual yang diterima oleh bearing selama operasi bisa berbeda dari beban ekuivalen yang dihitung. Variasi beban radial dan aksial serta fluktuasi beban dinamis dapat memperpendek umur bearing.
- b. Keausan dan Kerusakan: Keausan mekanis, korosi, dan kerusakan akibat kontaminasi (debu, kotoran) dapat mempengaruhi umur bearing.
- c. Pelumasan: Pelumasan yang tepat sangat penting untuk mengurangi gesekan dan keausan. Kurangnya pelumasan atau penggunaan pelumas yang tidak sesuai dapat menyebabkan bearing cepat rusak.
- d. Kondisi Lingkungan: Suhu, kelembaban, dan kondisi lingkungan lainnya juga dapat mempengaruhi ketahanan bearing. Suhu tinggi dapat mengurangi viskositas pelumas, sedangkan kelembaban dapat menyebabkan korosi.

Perawatan Bearing

1. Pelumasan:

- a. Pelumasan Berkala: Pastikan bearing dilumasi secara berkala sesuai dengan rekomendasi pabrikan. Pelumasan yang tepat membantu mengurangi gesekan dan mencegah keausan.
- b. Jenis Pelumas: Gunakan pelumas yang sesuai dengan spesifikasi bearing dan kondisi operasional. Pelumas yang tidak sesuai dapat menyebabkan pelumasan yang tidak efektif.

2. Pemeriksaan Berkala:

- a. Inspeksi Visual: Lakukan inspeksi visual secara berkala untuk mendeteksi tanda-tanda keausan, kerusakan, atau kebocoran pelumas.
- b. Pemantauan Suara: Periksa suara operasi bearing. Suara yang tidak biasa bisa menjadi indikasi masalah seperti keausan atau kerusakan.
- c. Vibrasi: Gunakan alat pemantau vibrasi untuk mendeteksi ketidakseimbangan atau kerusakan pada bearing.

3. Penggantian dan Perbaikan:

- a. Penggantian Bearing: Jika ditemukan tanda-tanda kerusakan atau keausan yang signifikan, gantilah bearing secepatnya untuk menghindari kerusakan lebih lanjut pada mesin.

- b. Perbaiki Mesin: Lakukan perbaikan pada komponen mesin lainnya yang mungkin mempengaruhi kinerja bearing, seperti poros atau housing.
4. Kondisi Operasional:
- a. Pengendalian Beban: Usahakan untuk mengendalikan beban operasional agar tidak melebihi kapasitas bearing. Beban yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan prematur.
 - b. Pengendalian Suhu: Pastikan suhu operasional mesin dalam batas yang aman untuk menghindari penurunan performa pelumas dan keausan bearing.
Dengan melakukan perawatan yang tepat dan memantau kondisi bearing secara berkala, Anda dapat memperpanjang umur bearing dan mengoptimalkan kinerjanya. Selain itu, penting untuk selalu mengikuti panduan dan rekomendasi dari pabrikan bearing untuk memastikan perawatan yang optimal.

F. Hasil Perhitungan dan Analisa

Hasil data perhitungan

Berikut hasil dari perhitungan umur bearing

Tabel 3. Hasil data perhitungan

Parameter	Nilai
Bore diameter	55 mm
Outside diameter	120 mm
Width	29 mm
Basic dynamic load	74,1 kN
Basic static load	45 kN
Reference speed	12.000 r/min
Limiting speed	5000 r/min
Beban radial	5,5355 kN
Beban aksial	5,5355 kN
Beban ekuivalen	5,45 kN
Umur bearing	8.378,07 jam

Pada perhitungan umur bearing 6311 pada pompa sentrifugal between bearing yaitu **8.378,07 jam = 0,96 Tahun**

G. Analisa Data Pemakaian Bearing Dilapangan

Tabel 4. Data aktual dilapangan

Pompa	Tanggal Pemakaian Bearing			
	No 1	23 Maret 2022	01 September 2022	30 Januari 2023
No 2	01 Juni 2022	26 November 2022	12 Mei 2023	07 Juni 2024

Tabel diatas merupakan data asli dari laporan data penggunaan bearing dilapangan.

Dari hasil perhitungan sebenarnya bisa mendekati 0,96 tahun, rata-rata pemakaian 5-8 bulan menunjukkan data aktual pergantian bearing lebih cepat dari perhitungan secara matematis.

Kondisi kerusakan bearing dapat dilihat secara visual. Bearing ini dianalisa setelah digunakan 18-20 jam/ hari selama kurang lebih 5-8 bulan pemakaian. Gambar berikut menunjukkan bearing yang mengalami kerusakan:



Gambar 7. Bearing mengalami kerusakan

Sebagian besar kegagalan bearing, menurut data kegagalan bearing yang telah dibahas, disebabkan oleh kegagalan pelumasan dan keausan rumah bearing. Jika jadwal pelumasan tidak ada, pelumasan tidak diperhatikan. Oleh karena itu, melakukan pelumasan secara teratur adalah langkah pencegahan dan perawatan untuk mencegah kerusakan berulang.

Oleh karena itu, cara pertama untuk mencegah kerusakan bearing adalah dengan membuat jadwal perawatan dan pelumasan bearing secara teratur. Ini akan menjaga kondisi dan kualitas bearing serta menjaga kinerja kerja pompa tetap stabil dan tidak menurunkan kinerjanya.

IV. SIMPULAN

Kesimpulan : Berdasarkan analisis dan perhitungan yang telah dilakukan terhadap bearing tipe 6311, Umur bearing (L10h) secara teoritis 8,378.07 jam. atau 0,96 Tahun. Angka ini diperoleh menggunakan rumus standar dengan parameter beban ekuivalen (P) sebesar 5.45 kN dan putaran poros (n) sebesar 5000 rpm.

Umur bearing dipengaruhi oleh berbagai faktor operasional, seperti beban radial (F_r) dan aksial (F_a), kondisi pelumasan, serta kondisi lingkungan tempat bearing beroperasi. Variasi dalam faktor-faktor ini dapat menyebabkan perbedaan antara umur teoretis dan umur aktual bearing.

Pelumasan yang tepat dan berkala sangat penting untuk memperpanjang umur bearing. Penggunaan pelumas yang sesuai dengan spesifikasi bearing dan kondisi operasional akan membantu mengurangi gesekan dan keausan.

Perawatan rutin dan pemantauan kondisi bearing melalui inspeksi visual, pemantauan suara, dan alat pemantau vibrasi dapat membantu mendeteksi dini masalah pada bearing, sehingga kerusakan lebih lanjut dapat dicegah. Pengendalian beban operasional dan suhu sangat penting untuk menjaga kinerja optimal bearing. Beban yang melebihi kapasitas atau suhu yang terlalu tinggi dapat mempercepat kerusakan bearing

Saran : untuk meningkatkan efektivitas operasional dan memperpanjang umur bearing, melakukan perawatan bearing secara teratur sesuai dengan panduan pabrikan untuk memastikan umur panjang dan kinerja optimal. Gunakan alat pemantau vibrasi dan inspeksi visual berkala untuk mendeteksi tanda-tanda awal keausan atau kerusakan pada bearing. Pastikan beban operasional dan suhu berada dalam batas yang aman untuk menghindari penurunan performa dan umur bearing. Lakukan penggantian bearing segera setelah ditemukan tanda-tanda kerusakan signifikan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada mesin.

Dengan mengikuti rekomendasi ini, diharapkan umur bearing dapat diperpanjang dan performa mesin dapat dipertahankan pada tingkat optimal. Perawatan yang baik dan pemantauan kondisi bearing secara berkala akan sangat berkontribusi dalam menjaga efisiensi operasional dan mengurangi biaya perawatan jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya kepada universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat. Terima kasih juga kepada pihak yang terkait bapak/ibu dosen yang membimbing mahasiswa untuk maju sampai tahap ini.

REFERENSI

- [1] M. F. Hidayat and N. Fajri, "ANALISA PERHITUNGAN DAYA POMPA SENTRIFUGAL DI GEDUNG UNIVERSITAS 17AGUSTUS 1945 JAKARTA," *JKTM*, vol. 4, no. 1, pp. 7–14, May 2019, doi: 10.52447/jktm.v4i1.1470.
- [2] D. Wardianto, "PENINGKATAN UMUR BEARING PADA POMPA CENTRIFUGAL DENGAN OPTIMASI PENGGUNAAN ANGULAR CONTACT BALL BEARING," 2018.
- [3] J. A. Kusuma and F. Y. Utama, "ANALISIS BEARING PADA POMPA SENTRIFUGAL DI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PT.SIER MENGGUNAKAN PROGRAM PREVENTIVE MAINTENANCE YANG TERENCANA," vol. 08, 2019.
- [4] D. Antoniohud, I. Pratiwi, and H. MZ, "ANALISIS PERAWATAN MESIN POMPA SENTRIFUGAL DENGAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE," *PROFISIENSI: Jurnal Program Studi Teknik Industri*, vol. 10, pp. 111–118, Dec. 2022, doi: 10.33373/profis.v10i2.4635.
- [5] M. Z. D. Sudarsono, "PROGRAM STUDI D-3 TEKNIK MESIN JURUSAN TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI JAKARTA 2022," 2022.
- [6] K. Y. Utomo, W. Setyadi, and P. Ananda, "Analisis Kerusakan Bearing 7210 Pada Torsion Shaft," *JIG*, vol. 22, no. 2, p. 75, Nov. 2019, doi: 10.47313/jig.v22i2.770.
- [7] M. Z. D. Sudarsono, S. Ruswanto, Y. M. Dedet, and E. Saputra, "Analisa Kerusakan Bearing pada Pompa Sentrifugal," 2022.
- [8] R. Irwanda, "ANALISA KETAHANAN DAN PERAWATAN BEARING UCFL206 PADA MESIN PENCACAH LIMBAH BOTOL PLASTIK DAN SOFTDRINK KAPASITAS 15 KG/JAM".
- [9] I. Hajar, "Pengaruh tipe bantalan bola pada poros pompa sentrifugal terhadap sinyal getaran," *JPL*, vol. 16, no. 1, p. 25, Jun. 2018, doi: 10.30811/jpl.v16i1.552.
- [10] "Deep groove ball bearing," SKF. [Online]. Available: www.skf.com
- [11] M. Muhtadin, "LEMBAR PENGESAHAN 'PERAWATAN KOREKTIF POMPA SENTRIFUGAL BETWEEN BEARING (3003 J) DI PT. PUPUK KUJANG CIKAMPEK,'" 2017.
- [12] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A Textbook of Mechine Design*. EURASIA PUBLISHING HOUSE (PVT.) LTD., 2005.
- [13] "NTN Bantalan Nola dan Rol," ©NTN Corporation, 2023, p. B-26.
- [14] K. Anam, "PERENCANAAN DAYA DAN PERHITUNGAN BANTALAN/BEARING PADA MESIN PENGUPAS KULIT KACANG HIJAU," 2016.
- [15] *KOYO Bantalan Bola dan Peran*. JTEKT Corporation.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.