

## Analisis Kegagalan Bantalan Radial pada *Traveling Wheels* Mesin *Ship Unloader*

Munadi\*, Ian Aditama Putra

\*Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH. Kampus UNDIP Tembalang Semarang 50239

munadi@ft.undip.ac.id

### Abstract

One of the important equipment in the cement production process is the ship unloader. If the equipment ship unloader does not work in good condition, the supply of lime raw materials that will flow to the stock pile will be hampered. One part of the ship unloader that is often damaged is the traveling wheel bearing. Damage occurs in a relatively fast interval since the previous bearing installation, so it is necessary to calculate the theoretical life of the bearing. After calculation, the theoretical life of the bearing is 8,185 hours of operation with 4.91 million revolutions. In actual conditions, the bearing life is shorter than the theoretical service life of 1,080 operating hours. The damage that occurs to the bearing is in the form of cracks and chips on the outer ring. The cause of the damage was caused by misalignment between the upper and lower bogie pins, a shift in the traveling wheels rail connection, collapse of the rail connection, contamination of the bearing lubricant.

**Keywords:** bearing life calculation, bearings, ship unloader

### Abstrak

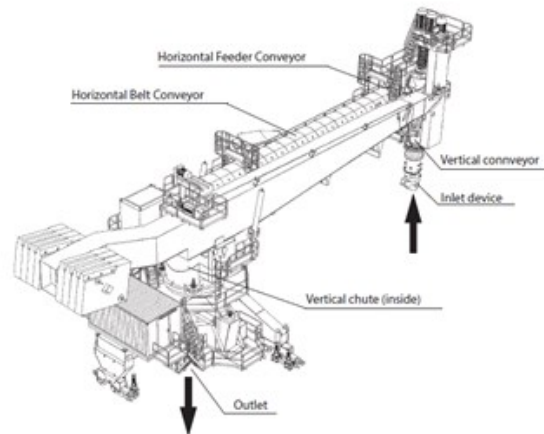
Salah satu peralatan yang penting didalam proses produksi semen adalah *ship unloader*. Jika *equipment ship unloader* tidak bekerja dalam kondisi yang baik, maka pasokan bahan baku kapur yang akan dialirkan menuju *stock pile* akan terhambat. Salah satu bagian dari *ship unloader* yang sering mengalami kerusakan adalah *bearing traveling wheels*. Kerusakan terjadi dalam interval yang relatif cepat sejak pemasangan bantalan sebelumnya, sehingga perlu dilakukan perhitungan umur teoritis bantalan. Setelah dilakukan perhitungan, umur teoritis bantalan sebesar 8.185 jam operasi dengan 4,91 juta putaran. Pada kondisi aktualnya, umur pakai bantalan ternyata lebih singkat jika dibandingkan dengan umur pakai teoritisnya yaitu 1.080 jam operasi. Kerusakan yang terjadi pada bantalan berupa *crack* dan *chips* di bagian *outer ring*. Penyebab terjadinya kerusakan disebabkan oleh *misalignment* antara pin *bogie* atas dan bawah, terjadi pergeseran pada sambungan jalur rel *traveling wheels*, amblas pada sambungan rel, adanya kontaminasi pada pelumas (*grease*) bantalan.

**Kata kunci:** perhitungan umur bantalan, bearing, ship unloader

### 1. Pendahuluan

Semen merupakan salah satu hasil industri dari paduan bahan baku dari batu kapur, tanah liat dan bahan pengganti lainnya dimana hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air [1]. Keberadaan industri semen sebagai penunjang pembangunan infrastruktur merupakan sesuatu yang sangat krusial dalam rangka mengembangkan sektor industri di negara kita. Tingkat kebutuhan semen di Indonesia terus mengalami peningkatan, hal ini ditunjukkan pada data bahwa tingkat penggunaan semen selama periode tahun 2015 – 2019 terus mengalami peningkatan [2]. Oleh sebab itu, kemampuan pabrik semen dalam menghasilkan produk berupa semen harus ditunjang oleh adanya proses produksi yang efisien dan berkelanjutan. Keberlangsungan proses produksi semen yang mumpuni memerlukan adanya sistem pemeliharaan (*maintenance*) yang baik. *Maintenance* adalah kegiatan pendukung utama yang bertujuan untuk menjamin kelangusngan peranan (fungsional) suatu sistem produksi (peralatan, dan mesin) sehingga pada saat dibutuhkan dapat dipakai sesuai kondisi yang diharapkan [3, 4].

Pada pabrik semen, terdapat peralatan yang memegang peranan penting yaitu mesin *ship unloader*, dimana sering terjadi kegagalan pada bantalan radial *traveling wheels*. *Ship unloader* merupakan peralatan utama dalam kegiatan pembongkaran batu kapur yang dikirim melalui kapal pengangkut atau tongkang dari tempat penambangan. Jenis yang digunakan adalah *continous ship unloader* yang cara kerjanya menghisap muatan didalam palka kemudian disalurkan melalui conveyor untuk menuju gudang penimbunan [5]. *Ship unloader* terdiri atas beberapa komponen utama yang ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Komponen utama *ship unloader*

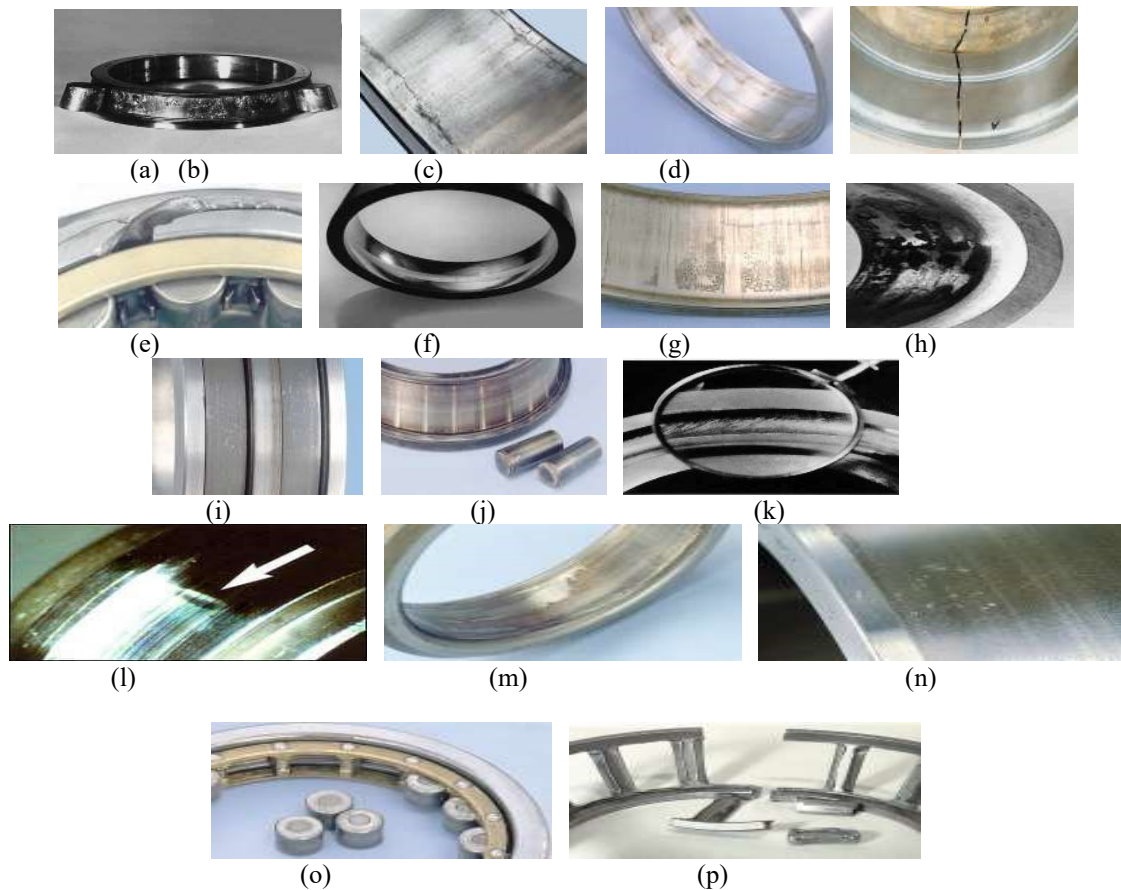
Pada Gambar 1 ditunjukkan komponen – komponen utama dari *ship unloader*. Aliran material bermula dari batu kapur dimasukkan ke dalam unloader melalui *counter-rotating inlet device* khusus yang dipatenkan. *Vertical conveyor* mengangkat material ke *horizontal feeder conveyor*, yang mana memasukkan material ke *belt conveyor*. *Horizontal belt conveyor* mengangkat material, dimana material pada akhirnya lewat melalui saluran vertical (*vertical chute*). Material akan jatuh melalui *outlet* dan masuk ke *belt conveyor*. Batu kapur yang keluar dari outlet akan diangkut menuju *stock pile* menggunakan *belt conveyor*. Kerusakan yang terjadi pada bantalan radial *traveling wheels* dapat menyebabkan kinerja *ship unloader* terhambat. Bantalan (*bearing*) adalah elemen mesin yang mampu menumpu poros berbeban, sehingga gesekan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang usia pemakaiannya [6]. Bantalan membantu mengurangi gesekan peralatan berputar pada poros. Bantalan menjaga poros (*shaft*) agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya atau menjaga suatu komponen yang bergerak linear agar selalu berada pada jalurnya [7, 8].

Bantalan dapat diklasifikasikan berdasarkan kerjanya dan juga berdasarkan gaya atau jenis beban yang dapat ditahan oleh bantalan. Berikut macam – macam bantalan bila dilihat dari berbagai aspek [9], antara lain berdasarkan gesekan yang terjadi pada bantalan, maka bantalan dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu bantalan yang tidak menimbulkan gesekan dan bantalan yang menimbulkan gesekan. Selanjutnya berdasarkan beban yang ditahan oleh bantalan, maka bantalan dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu bantalan radial, bantalan poros, dan bantalan aksial.

Variasi bentuk geometri dan fungsi bantalan untuk masing-masing tipe sangat banyak jenisnya. Karena itu, untuk menjamin *interchangeability* dan simplifikasi, bantalan telah distandardkan dan berbagai data-datanya dipresentasikan dalam katalog. Parameter-parameter utama yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan bantalan antara lain adalah beban, putaran, tipe dan aliran pelumas, dimensi, jenis aplikasi, getaran, temperatur, dan kondisi lingkungan [9]. Kerusakan bantalan dapat disebabkan oleh pembebanan berlebih, pelumasan yang tidak baik dan berbagai penyebab lainnya. Berikut merupakan jenis – jenis kerusakan yang sering terjadi pada bantalan ditunjukkan pada Gambar 2 [10,11].

Untuk mengetahui penyebab kegagalan dari sebuah bantalan perlu dilakukan analisis kegagalan terlebih dahulu. Suatu komponen dikatakan mengalami kegagalan apabila komponen tersebut tidak memenuhi umur pakai yang telah direncanakan; komponen tersebut sudah tidak berfungsi sama sekali; masih berfungsi tetapi membahayakan; masih berfungsi tetapi tidak optimal; komponen tersebut tidak dapat berfungsi seperti yang dirancang; dan masih berfungsi tetapi umumnya sudah terdapat retakan atau cacat yang menyebabkan fungsi alat menjadi terbatas. Analisis kegagalan logam dapat didefinisikan sebagai langkah-langkah pemeriksaan atas komponen yang mengalami kegagalan dan keadaan kegagalannya untuk dicari penyebabnya dan cara penanggulangannya. Pengumpulan data material komponen serta proses pengerjaannya akan banyak membantu dalam menemukan penyebab kegagalan. Sampel yang diambil sedapat mungkin bisa memberikan gambaran mengenai peristiwa kegagalan. Oleh karena itu lokasi pengambilan harus tepat, serta keadaannya harus sebaik mungkin [12].

Berdasarkan standar ANSI / API 689, mekanisme kegagalan suatu komponen dapat dikategorikan berdasarkan beberapa penyebab, yaitu mekanik, material, peralatan, listrik, pengaruh eksternal, dan pengaruh lainnya [13]. Selain mekanisme kegagalan, berdasarkan standar ANSI / API 689 penyebab kegagalan suatu komponen dapat disebabkan oleh salah satu atau lebih dari aspek desain, aspek pabrikasi/instalasi/pemasangan, aspek pengoperasian/perawatan, aspek manajemen, dan aspek lainnya. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini akan dilakukan analisis kegagalan dan perhitungan umur teoritis bantalan terhadap bantalan *traveling wheels* pada *equipment ship unloader*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui korelasi antara umur pakai bantalan secara aktual dan teoritis, serta untuk mengetahui akar faktor permasalahan penyebab sering terjadinya kerusakan di bantalan *traveling wheels*. Tentunya, hal ini juga sebagai tindak lanjut untuk mendapatkan solusi dalam mencegah kerusakan yang terjadi di masa yang akan datang.



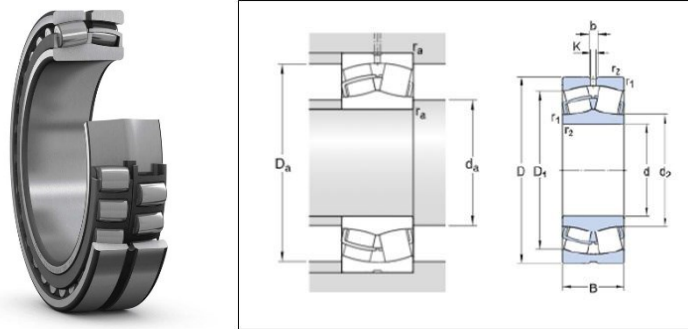
**Gambar 2.** Jenis – jenis kerusakan yang terjadi pada bantalan (a) *Flaking*, (b) *Scuffing*, (c) *Scratches*, (d) *Crack*, (e) *Chips*, (f) *Wear*, (g) *Rust*, (h) *Corrosion*, (i) *Pear Skin*, (j) *Discoloration*, (k) *Smearing*, (l) *Brinelling*, (m) *Creep*, (n) *Electric pitting*, (o) *Seizure*, (p) *Failure of cage*

## 2. Material dan Metodologi

Bantalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bantalan radial *traveling wheels* berjenis *spherical roller bearing* yang ditunjukkan pada Gambar 3. Adapun spesifikasi bantalan radial *traveling wheels* disajikan dalam Tabel 1. Studi eksperimental akan dilakukan pada bearing yang terpasang pada mesin *ship unloader* dengan waktu pengambilan data selama 1 hari.

**Tabel 1.** Spesifikasi Bantalan Radial

Jenis data	Spesifikasi
Nama	SKF 22228 CC/W33
Diameter luar (D)	250 mm
Diameter dalam (d)	140 mm
Dynamic Load (C)	743 kN
Static Load (C <sub>0</sub> )	900 kN
Reference Speed	2400 rpm
Actual Speed	10 rpm
Calculation factors	e : 0,26; Y <sub>1</sub> : 2,6 Y <sub>2</sub> : 3,9; Y <sub>0</sub> : 2,5



Gambar 3. Spherical Roller Bearing 22228 CC/W33

Dalam perhitungan umur bantalan akan menggunakan rumus perhitungan bantalan dengan keandalan 90 %. Adapun persamaan yang digunakan ditunjukkan oleh persamaan no 1 sebagai berikut ini [14]:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (1)$$

Keterangan :

$L_{10}$  = Umur bantalan dengan keandalan 90% (juta putaran)

$C$  = Basic load system (kN)

$p$  = Beban ekuivalen dinamis (kN)

$p$  = konstanta untuk bantalan rol ( $p = 10/3$ )

Selanjutnya dalam menghitung umur bantalan berdasarkan waktu operasi, maka digunakan persamaan no 2 sebagai berikut [11] :

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \times n} L_{10} \quad (2)$$

Keterangan :

$L_{10h}$  = Umur bantalan berdasarkan waktu operasi (jam)

$L_{10}$  = Umur bantalan dengan keandalan 90% (juta putaran)

$n$  = putaran motor pernggerak (rpm)

Dalam perhitungan kekuatan bantalan, dilakukan dengan menentukan besarnya beban maksimal yang terjadi pada bantalan. Beban maksimal mencakup beban ekuivalen dan beban radial [15]. Suatu beban yang besarnya sedemikian rupa sehingga memberikan umur yang sama dengan umur yang diberikan oleh beban dan kondisi putaran sebenarnya, yang disebut beban ekuivalen dinamis. Jika suatu deformasi permanen maksimum yang terjadi karena kondisi beban statis yang sebenarnya pada bagian dimana elemen gelinding membuat kontak dengan cincin pada tegangan maksimum, maka beban yang menimbulkan deformasi tersebut dinamakan beban ekuivalen statis.

Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui spesifikasi *spherical roller bearing* yang dinyatakan pada data sheet seperti Gambar 4 yang dapat digunakan untuk menghitung beban ekuivalen. Misalkan sebuah bantalan membawa beban radial  $Fr$  ( kN ) dan beban aksial  $Fa$  ( kN ), maka beban ekuivalen dinamis  $P$  ( kN ) dinyatakan dalam persamaan 3 sebagai berikut [14] :

$$P = V \cdot X \cdot Fr + Y \cdot Fa \quad (3)$$

Keterangan :

$P$  = Beban ekuivalen dinamis (kN)

$Fr$  = Beban radial (kN)

$Fa$  = Beban aksial (kN)

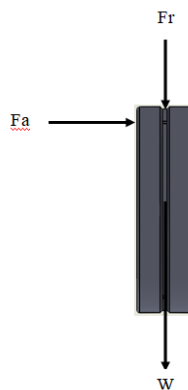
Bearing Part Number	Bearing Dimensions			Load Ratings		Cage Type	Mounting Data			Equivalent Radial Load Factors <sup>(1)</sup>				Geometry Factor <sup>(2)</sup> C <sub>g</sub>	Thermal Speed Ratings <sup>(4)</sup>		Weight
	Bore d	O.D. D	Width B	Dynamic C	Static C <sub>0</sub>		Fillet <sup>(3)</sup> R	Backing Diameter		Dynamic		Static	Oil		Grease		
	mm in.	mm in.	mm in.	kN lbf.	kN lbf.			Shaft d <sub>s</sub>	Housing D <sub>h</sub>	e	F <sub>r</sub> ≤ e F <sub>r</sub> /Y	F <sub>r</sub> > e F <sub>r</sub> /X				In All Cases Y <sub>0</sub>	
22228	140 5.5118	250 9.8425	68 2.6772	863 194000	1060 237000	EM	2.5 0.1	167 6.6	228 9	0.25	2.67 Y	3.98 Y	2.61	0.082	2600	2200	14.2 31.2
23228	140 5.5118	250 9.8425	88 3.4646	1090 246000	1410 317000	EJ	2.5 0.1	165 6.5	229 9	0.32	2.11 Y	3.13 Y	2.06	0.083	1700	1500	18.5 40.7

Gambar 4. Spesifikasi spherical roller bearing 22228 CC/W33

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Perhitungan Beban Ekuivalen Dinamis

Sebelum menghitung umur bantalan, tentunya harus diketahui gaya total (F<sub>r</sub>) yang terjadi pada bantalan. Oleh sebab itu perlu digambarkan diagram benda bebasnya (DBB) terlebih dahulu. Gambar 5 menunjukkan DBB pada bantalan.



Gambar 5. Diagram benda bebas

Beban yang terjadi pada spherical roller bearing adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 W_{\text{bantalan}} &= m_{\text{ship unloader}} \times g \\
 &= 22.150 \times 9,81 \\
 &= 217.291 \text{ kg m/s}^2 \\
 &= 217.291 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya jatuhnya batu kapur (energi potensial) yang terjadi pada rotor adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 E_p &= m_{\text{batu kapur}} \times g \times h \times \text{running hours} \\
 &= 1075 \times 9,81 \times 6,4 \times 12 \\
 &= 809.913 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, energi potensial perlu didistribusikan menuju sembilan *traveling wheels ship unloader*. Untuk mendapatkan gaya jatuhnya yang bekerja pada masing-masing *traveling wheels*, maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 E_{pt} &= \frac{E_p}{9} \\
 &= \frac{809.913}{9} \\
 &= 89.990 \text{ N}
 \end{aligned}$$

sehingga gaya radial yang terjadi pada masing - masing bantalan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_r &= W_{\text{bantalan}} + E_{pt} \\
 &= 217.291 \text{ N} + 89.990 \text{ N} = 307.281 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Adapun besarnya gaya aksial yang terjadi pada bantalan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_a &= \frac{0,5 Fr}{Y} \\ &= \frac{0,5 \cdot 307.281}{2,6} \\ &= 59.092 \text{ N} \end{aligned}$$

Dicari perbandingan  $\frac{F_a}{F_r}$  untuk dilakukan perhitungan nilai beban ekuivalen :

$$\begin{aligned} \frac{F_a}{F_r} &= \frac{59.092}{307.281} \\ \frac{F_a}{F_r} &= 0,19 \end{aligned}$$

Jika nilai  $\frac{F_a}{F_r} = 0,19 \leq e$  ( $0,19 \leq 0,26$ ) maka dapat ditentukan faktor untuk perhitungan beban ekuivalen yaitu  $X = 1$  dan  $Y = 2,67$ . Untuk menghitung beban dinamis ekuivalen pada bantalan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= V \cdot X \cdot Fr + Y \cdot Fa \\ &= 1 \cdot 1 (307.281) + 2,6 (59.092) \\ &= 460.920 \text{ N} \\ &= 460,92 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 3.2 Perhitungan Umur Teoritis Bantalan

Tahap berikutnya setelah diketahui beban yang bekerja yang terjadi pada bantalan, maka selanjutnya adalah melakukan perhitungan teoritis umur pakai bantalan. Untuk menghitung umur pakai bantalan ini (*spherical roller bearing*) maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L_{10} &= \left(\frac{C}{P}\right)^3 \\ &= \left(\frac{743}{460,92}\right)^{10/3} \\ &= (1,6119934)^{10/3} \\ &= \sqrt[3]{1,6119934^{10}} \\ &= \sqrt[3]{118,476603} \\ &= 4,911 \text{ juta putaran} \end{aligned}$$

Perhitungan diatas merupakan perhitungan umur pakai bantalan berdasarkan jumlah putaran dalam juta putaran. Sedangkan perhitungan umur pakai bantalan berdasarkan jumlah jam operasinya, untuk mendapatkan data tersebut digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L_h &= \frac{10^6}{60 \times n} L_{10} \\ &= \frac{10^6}{60 \times 10} \times 4,911 \\ &= \frac{10^6}{600} \times 4,911 \\ &= \frac{4.911.000}{600} \\ &= 8.185 \text{ jam operasi} \end{aligned}$$

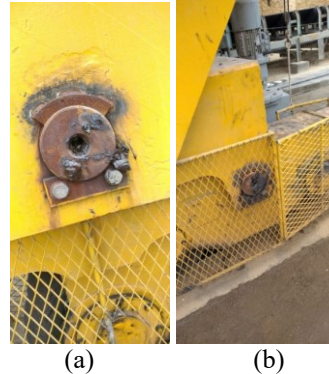
### 3.3 Analisis Kegagalan Bantalan Radial *Traveling Wheels*

Dari hasil perhitungan secara teoritis, umur bantalan *traveling wheels* yang mengangkut batu kapur yaitu selama 8.185 jam operasi dengan waktu operasi selama 12 jam per hari dan putaran yang dihasilkan sebanyak 4,911 juta putaran. Perhitungan yang dilakukan dianggap bahwa *ship unloader* bekerja setiap hari. Pada kenyataannya di lapangan bahwa bantalan *traveling wheels* mengalami kerusakan lebih cepat dari umur teoritisnya yaitu hanya berumur 1.080 jam operasi. Setelah dilakukan investigasi dan pengecekan secara visual di lapangan pada bantalan yang mengalami kerusakan, maka diketahui bahwa:

- Terlihat pada Gambar 6 bahwa jenis kerusakan yang dialami bantalan berupa retak dan pecah pada bagian *outer ring* bantalan. Kerusakan ini disebabkan oleh beban yang berlebihan, kecepatan operasional mesin yang terlalu tinggi saat operasi, serta dampak getaran yang terlalu kuat, serta pelumasan dengan metode yang tidak tepat.



**Gambar 6.** Retak dan pecah yang terjadi pada bantalan

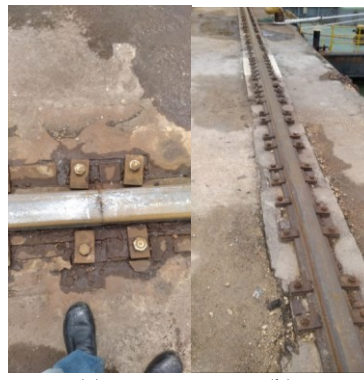


**Gambar 7.** (a) Pin *Bogie* atas (b) Pin *Bogie* bawah

- Berdasarkan pengamatan di lapangan didapatkan temuan bahwa terjadi *misalignment* antara pin *bogie* atas dan bawah yang menyebabkan gaya aksial yang bekerja pada bantalan melebihi batas yang seharusnya. Kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 7. Gaya aksial berlebih yang tidak sesuai dengan kekuatan bantalan, dan dapat menyebabkan kegagalan bantalan dalam jangka waktu yang lebih cepat dari yang seharusnya.
- Terjadi pergeseran pada sambungan jalur rel *traveling wheels* yang menyebabkan roda tidak berjalan pada jalur yang seharusnya. Pergeseran ini dapat menyebabkan hentakan pada roda serta bertambahnya beban yang bekerja pada bantalan terutama beban di arah trasversal. Penambahan beban aksial yang melewati batas kekuatan bantalan dapat menyebabkan kegagalan pada bantalan. Terjadinya pergeseran pada sambungan rel ditunjukkan pada Gambar 8.
- Terjadi penurunan permukaan tanah (amblas) pada sambungan rel sehingga menimbulkan hentakan pada roda ketika dilewati *ship unloader*. Adapun terjadinya amblas pada sambungan rel ditunjukkan pada Gambar 9.
- Ditunjukkan pada Gambar 10 bahwa pelumas yang terdapat pada bantalan sudah berwarna hitam dan mengalami kontaminasi. Kondisi lingkungan di area bantalan luar mesin tersebut terdapat tumpukan batu kapur, sehingga mengakibatkan pelumas (*grease*) yang digunakan terkontaminasi batu kapur.



**Gambar 8.** Pergeseran pada sambungan jalur rel *traveling wheels*



**Gambar 9.** (a) Sambungan rel yang mengalami amblas; (b) Jalur rel yang tidak mengalami amblas



**Gambar 10.** Kontaminasi pelumas pada bantalan

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan perhitungan umur bantalan dan analisis kerusakan terhadap bantalan *traveling wheels* berjenis *spherical roller bearing* yang digunakan pada *equipment ship unloader* pada pabrik semen, maka dapat diperoleh hasil bahwa umur pakai bantalan teoritis yaitu 8.185 jam operasi dengan waktu operasi 12 jam per hari, dan putaran yang dihasilkan sebanyak 4,91 juta putaran. Pada kondisi aktualnya, umur pakai bantalan ternyata lebih singkat jika dibandingkan dengan umur pakai teoritisnya yaitu selama 1.080 jam operasi. Hal ini menyebabkan terjadi kerusakan berupa *crack* dan *chips* di bagian *outer ring* bantalan *traveling wheels*. Penyebab terjadinya kerusakan di bagian *outer ring* bantalan disebabkan oleh *misalignment* antara pin *bogie* atas dan bawah, pergeseran sambungan jalur rel *traveling wheels* yang menyebabkan roda tidak berjalan pada jalur yang seharusnya, turunnya permukaan tanah pada sambungan rel sehingga menimbulkan hentakan pada roda ketika dilewati *ship unloader*, serta adanya kontaminasi pada pelumas (*grease*) bantalan.

### Daftar Pustaka

- [1] Jaya, A.A.P, 2021, “Proses Produksi Pembuatan Semen dari Raw Material Hingga menjadi Produk Semen dan Analisis Heatloss Unit Kiln Indarung IV”, PT. Semen Padang.
- [2] Purnamasari, W., Rohmatiah, A., Indartini, M., 2021, “Pengaruh Harga, Promosi dan Saluran Distribusi Semen Gresik Terhadap Minat Beli Konsumen (Studi Kasus di Distributor PT Abadi Putera Wirajaya)”, Jurnal Ekomaks: Jurnal Manajemen, Ekonomi Kreatif dan Bisnis, 10:(1), 40–50.
- [3] Dadue, R., Saerang, I.S., Untu, V.N., 2019, “Analisis Kinerja Keuangan Industri Semen yang Terdaftar di Bursa Efek Indonesia”, Jurnal EMBA: Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis dan Akuntansi, 5:(2).
- [4] Daulay, H.W., 2016, “Analisa Sistem Maintenance River Side Pump dengan Membandingkan antara Breakdown dan Preventive Maintenance di Pabrik Gula Kwala Madu”, Doctoral dissertation.
- [5] Pratama, M.E., Akhmad, E.P., Novianto, I., 2018, “Pengaruh Utilisasi Alat Continuous Ship Unloaders terhadap Produktivitas Bongkar Muat Curah Kering (Phospate Rock) di Pelabuhan Khusus Petrokimia Gresik”, Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhanan, 7(2): 92–104.
- [6] Wibowo, A., 2018, “Rancang Bangun Traktor Mini untuk Meningkatkan Efisiensi Waktu dan Hasil Pembajakan Lahan Kering (Pengujian)”, Doctoral Dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [7] Wardianto, D., 2018, “Peningkatan Umur Bearing pada Pompa Centrifugal dengan Optimasi Penggunaan Angular Contact Ball Bearing,” Menara Ilmu, 12(5).
- [8] Hermawan, S., Jamari, 2012, “Studi Karakteristik Hidrodinamika pada Slider Bearing dengan Permukaan Slip dan/atau Permukaan Bertekstur”, Doctoral Dissertation, Mechanical Engineering Department, Faculty Engineering Of Diponegoro University.
- [9] Farid, A., Wibowo, H., 2017, “Studi Pemilihan Jenis dan Perhitungan Umur Bantalan pada Turbin Angin Poros Vertikal”, Iteks, 9(1).
- [10] Masmukti, 2011, “Bantalan dan Sistem Pelumasan”.
- [11] Koyo, 2013, “Ball and Roller Bearings: Failures, Causes and Countermeasures”.
- [12] Abrianto, A., 2012, “Analisa Kegagalan Logam”.
- [13] ANSI / API 689, 2011, “Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment”.
- [14] Budynas, R.G., Nisbett, J.K., & Shigley, J.E., 2011, “Shigley's mechanical engineering design”, New York, McGraw-Hill.
- [15] Tyas, L.M.P.N., 2015, “Perancangan Bantalan Poros Stern Tube Km. Orion Star”, Doctoral dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.