

ANALISIS KEAUSAN SHAFT PADA FRONT IDLER EXCAVATOR (BACKHOE) HITACHI TIPE EX-100

Shaft Wear Analysis on Front Idler Excavator (Backhoe) Hitachi EX-100 Type

Kurniawan Rahmat Widodo^{1*}

¹ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muria Kudus,
Kampus Gondangmanis PO. BOX 53 Bae 59324, Indonesia

* Email Korespondensi : widodokurniawan@gmail.com

Artikel Info - : Diterima : 22-12-2021; Direvisi : 04-01-2022; Disetujui : 06-01-2022

ABSTRAK

Backhoe merupakan salah satu jenis *excavator* yang banyak digunakan pada aplikasi pertanian dan konstruksi sebagai peralatan penggali, pengangkat dan pemuat. Lokasi kerja *backhoe* yang berpasir dan berbatu akan mempercepat keausan pada komponen *undercarriage* utamanya pada komponen *front idler*, yaitu pada *shaft*. Data yang ada *shaft* selalu mengalami kerusakan dengan waktu penggunaan kurang dari setahun. Untuk itu penulis tertarik untuk melakukan analisis keausan *shaft* pada *front idler backhoe* Hitachi tipe Ex-100 yang sering terjadi di Dinas Bina Marga Kabupaten Kudus, sehingga ke depan kerusakan pada sistem *track* ini dapat diminimalkan. Beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain: pengamatan cara kerja operator dan lokasi kerja *backhoe*, mengamati kerusakan yang terjadi pada komponen *front idler*, pengukuran dimensi awal dan dimensi setelah aus pada komponen *front idler* yaitu pada *idler*, *shaft* dan *bushing*, uji kekerasan material komponen *front idler* di POLINES, dan pengolahan data serta melakukan analisis penyebab kerusakan. *Shaft front idler* mengalami keausan abrasif yang dapat dilihat dari goresan-goresan yang nampak pada lokasi keausan pada *shaft*. Tegangan maksimum yang terjadi pada area kontak sebesar 2,05 kN/mm². Seharusnya *shaft* mempunyai *life time* lebih dari 6 tahun tetapi terjadi keausan pada *shaft* sebesar 13 mm dalam waktu kurang dari 1 tahun. Hal ini dikarenakan adanya faktor eksternal yaitu pasir dan bebatuan yang mempercepat terjadinya abrasi pada *shaft*.

Kata Kunci: *Backhoe*, Keausan, Abrasif, *Shaft*

ABSTRACT

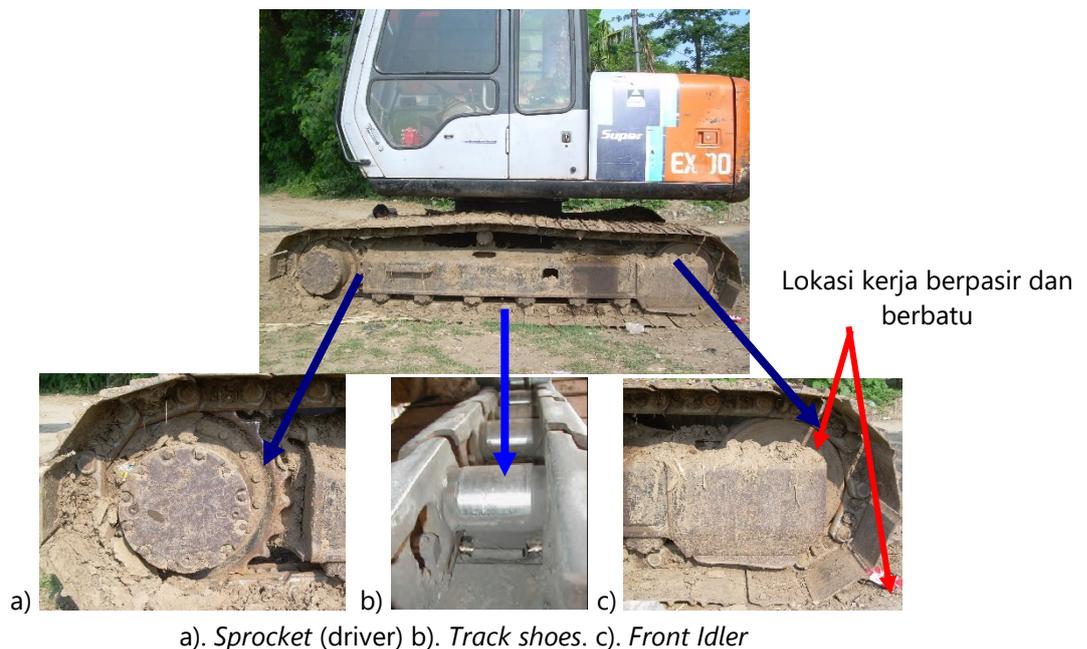
Backhoe is one type of *excavator* that is widely used in agricultural and construction applications as digging, lifting, and loading equipment. The sandy and rocky *backhoe* work location will accelerate wear on the *undercarriage* components, especially on the *front idler* component, namely the *shaft*. The existing data *shaft* is always damaged with a usage time of less than a year. For this reason, the author is interested in analyzing *shaft* wear on the Hitachi *front idler backhoe* type Ex-100 which often occurs at the Highways Service of Kudus Regency, so that in the future damage to this *track* system can be minimized. Several stages were carried out in this study, including observing how the operator works and the work location of the *backhoe*, observing the damage that occurs to the *front idler* component, measuring the initial dimensions and dimensions after wear on the *front idler* component, namely the *idler*, *shaft*, and *bushing*, testing the hardness of the material. *front idler* component in POLINES, and data processing and analysis of the causes of damage. The *front idler shaft* suffers from abrasive wear which can be seen from the visible scratches at the wear site on the *shaft*. The maximum stress that occurs in the contact area is 2.05 kN/mm². Shafts should have a lifetime of more than 6 years but the *shaft* wears 13 mm in less than 1 year. This is due to external factors, namely sand and rocks that accelerate the occurrence of abrasion on the *shaft*.

Key Words: *Backhoe*, Wear, Abrasive, *Shaft*

1. Pendahuluan

Backhoe merupakan salah satu jenis *excavator* yang banyak digunakan di beberapa bidang diantaranya pada aplikasi pertanian dan konstruksi, yang berfungsi sebagai peralatan penggali, pengangkat dan pemuat. Keuntungan *backhoe* dibandingkan dengan *excavator* yang lain (*clamsell*, *shovel*) adalah dapat menggali dengan kedalaman yang lebih besar, dapat digunakan sebagai alat pemuat bagi truck [1]. Menurut tipe roda penggerakannya, *backhoe* dibagi menjadi dua yaitu jenis roda ban (*wheel*) dan roda kelabang (*crawler*) atau biasa disebut sistem *track*. Untuk *Backhoe* Hitachi tipe Ex-100 ini menggunakan roda sistem *track*.

Adapun bagian-bagian dari sistem *track* dapat dijelaskan seperti Gambar 1.

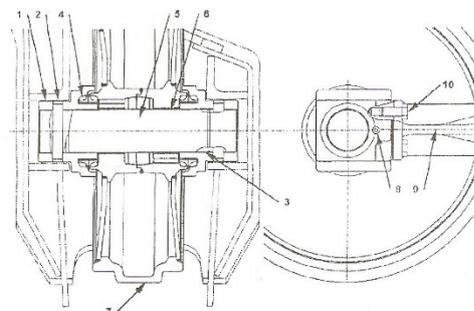


Gambar 1. Sistem Track Pada *Backhoe*

Front idler merupakan komponen yang berfungsi :

1. Menjaga *track shoes* pada tempatnya dan bergerak maju mundur mengikuti gerakan sprocket.
2. Dengan *adjuster*, melakukan pengaturannya kekencangan *track shoes*.

Front idler mempunyai tiga komponen utama, yaitu *idler*, *bushing* dan *shaft*. Komponen lengkap dari *front idler* dapat dijelaskan pada Gambar 2.



- 1). *Bearing*, 2). *Pin*, 3). *O-Ring*, 4). *Floating seal*, 5). *Shaft*, 6). *Bushing*, 7). *Idler*, 8). *Plug*, 9). *Yoke*, 10). *Bolt*

Gambar 2. Komponen *Front Idler*

Pada umumnya *front idler* sering mengalami kerusakan, diantaranya disebabkan oleh :

1. Setelan *track shoes* yang terlalu kendur atau tegang.
2. *Backhoe* bekerja pada lokasi tanah yang banyak mengandung pasir atau bebatuan.

Track shoes yang terlalu kencang akan meningkatkan keausan pada komponen *front idler*, utamanya pada *idler* dan *bushing*, hal ini dikarenakan meningkatnya tegangan pada pusat kontak antara *idler* dan *bushing* tersebut.

Sistem *track* pada *backhoe* merupakan komponen utama yang berkontak dengan tanah dan material keras lainnya, sehingga diperlukan pemeriksaan dan pembersihan secara berkala, karena tanah, pasir atau partikel keras lainnya yang menempel pada sistem *track* akan menyebabkan keausan.

Penelitian tentang keausan diantaranya telah dilakukan oleh Hegadekatte, dkk [2] dengan melakukan permodelan menggunakan *pin* dan *disc* untuk memprediksi keausan di dalam tribometer. Dari penelitian ini diantaranya dapat diidentifikasi koefisien keausan dan memprediksi kedalaman keausan menggunakan simulasi Abaqus. Sedangkan Kurzenhäuser, S, dkk [3] melakukan penelitian keausan menggunakan simulasi kontak *ball* dan *disc* untuk mendapatkan keausan dan friksi dengan material Si_3N_4 *ceramic* and WC-Co *hardmetal*. Saad Mukras dkk [4] melakukan penelitian tentang kontak osilasi pada pin dan pivot menggunakan Metode Elemen Hingga untuk memprediksi keausan dengan material baja. Dari uraian di atas keausan merupakan fenomena yang wajar pada benda yang berkontak [5,6]. Akan tetapi analisis yang baik diperlukan untuk mengurangi laju keausan dan mengurangi kerusakan pada mesin [7-9].

Untuk itu penulis tertarik untuk melakukan analisis keausan *shaft* pada *front idler backhoe* Hitachi tipe Ex-100 yang sering terjadi di Dinas Bina Marga Kabupaten Kudus, sehingga ke depan kerusakan pada sistem *track* ini dapat diminimalkan, dengan menghitung besarnya tegangan yang terjadi pada area kontak antara *shaft* dan *track*, serta *life time* dari *shaft*.

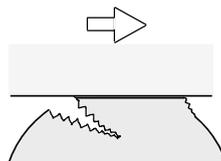
2. Landasan Teori

Keausan dikenal sebagai peristiwa terbuangnya material dari suatu permukaan disebabkan interaksi permukaan yang berkontak. Laju keausan dari suatu material tergantung pada kondisi kontak, seperti tekanan kontak, permukaan kontak, lingkungan, kecepatan *sliding* dan pelumasan. Hampir semua mesin kehilangan keandalan dan kekuatannya disebabkan oleh keausan. Oleh karena itu pengontrolan keausan telah menjadi kebutuhan untuk pengembangan teknologi di masa depan, diantaranya dengan mempertimbangkan kondisi operasi suatu mesin dan pemilihan material [10].

Biasanya mekanisme keausan digolongkan dalam 4 model yaitu [10]:

1. Keausan adhesif

Keausan adhesif terjadi jika kontak yang menghubungkan dua permukaan di bawah kontak plastis mempunyai cukup kekuatan ikatan adhesif untuk melawan *sliding*, sehingga terjadi deformasi plastis yang disebabkan oleh dislokasi pada daerah kontak dikarenakan kompresi dan geseran, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme Keausan Adhesive

Persamaan keausan adhesif dapat dideskripsikan sebagai berikut :

$$V = K_{ad} \frac{W.L}{H_V} \quad (1)$$

Di mana :

V = Volume keausan, mm^3

K_{ad} = Koefisien keausan.

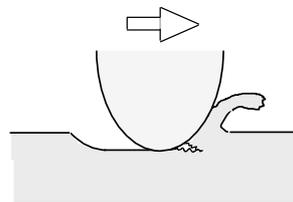
W = Beban normal, kN

L = Jarak sliding, mm

H_v = Harga kekerasan material (vickers), GPa

2. Keausan abrasif

Keausan abrasif terjadi jika kontak antara dua permukaan dan membuat goresan yang dalam (*ploughing*) saat *sliding* mengakibatkan sebagian material terbuang. Biasanya disebabkan oleh partikel yang keras yang berkontak dengan permukaan solid seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme keausan abrasif

Persamaan keausan abrasif dapat dideskripsikan sebagai berikut :

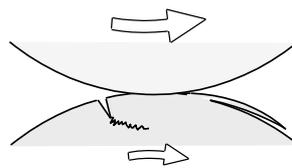
$$V = K_{ab} \frac{W \cdot L}{H_v} \quad (2)$$

Di mana : K_{ab} = Koefisien keausan.

Persamaan (1) dan (2) biasanya disebut persamaan keausan *Archard*.

3. Keausan Fatik

Keausan fatik terjadi jika siklus kontak atau jumlah kontak berulang menghasilkan keausan. Mekanismenya seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Mekanisme Keausan Fatik

Mekanisme ini biasanya terjadi pada elemen yang berputar (*rolling*) yang mengalami kontak elastis. Jumlah kritikal dari siklus putaran N_f yang menyebabkan keausan secara eksperimen dapat ditunjukkan seperti persamaan 3.

$$N_f \propto \frac{1}{W^n} \quad (3)$$

Di mana :

W = Beban

n = Konstanta eksperimen, untuk *ball bearing* $n = 3$

Jika lapisan partikel yang dilepaskan karena kegagalan fatik putaran rendah, maka N_f yang telah dimodifikasi oleh *Coffin-Manson* akan memberikan hubungan seperti persamaan 4.

$$N_f = \left(\frac{C_s}{\Delta\gamma_s} \right)^D \quad (4)$$

Di mana:

C_s = Monotonic effective shear strain

$\Delta\gamma_s$ = Effective shear strain increment per wave pass

D = Konstanta, biasanya diambil nilai 2

Dengan mempertimbangkan kerja plastis yang dibutuhkan untuk menghasilkan volume keausan, dan dengan persamaan 4, laju keausan spesifik w_s oleh Clallen dituliskan dengan Persamaan 5 di bawah ini.

$$w_s = \frac{r_p \cdot \mu}{k \cdot C_s^D \cdot \Delta\gamma_s^{1-D}} \quad (5)$$

Di mana :

r_p = Ratio of plastic to total work of sliding

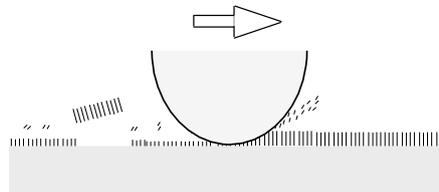
K = Shear flow stress rata-rata. = $\frac{H_v}{3\sqrt{3}}$

Koefisien fatik, K_f , seperti halnya K_{ad} dan K_{ab} , dengan Persamaan 5 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$K_f = w_s \cdot H = w_s = \frac{3\sqrt{3} \cdot r_p \cdot \mu}{k \cdot C_s^D \cdot \Delta\gamma_s^{1-D}} \quad (6)$$

4. Keausan Korosif

Saat *sliding* berlangsung, terutama di dalam gas atau cairan korosif, *reaction product* dibentuk pada permukaan dengan interaksi chemical. Jika *reaction product* melekat kuat pada permukaan dan bertindak sebagai *bulk material*, maka mekanisme keausan pada kontak akan terjadi. Mekanisme keausan ini dapat dijelaskan pada Gambar 6.



Gambar 6. Mekanisme Keausan Korosif

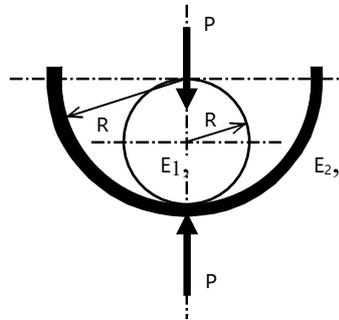
Keausan oksidasi merupakan model representatif dari keausan korosif pada logam. Perhitungan koefisien keausan korosif menurut Quinn yaitu :

$$K_c = \frac{dA}{\xi^2 \cdot \rho^2 \cdot v} \exp\left(-\frac{Q}{R_g \cdot T}\right) \quad (7)$$

Di mana :

- A = konstanta Arrhenius
- Q = Activation energy
- R_g = Konstanta gas
- T = Temperatur absolut
- ρ = Berat jenis oxide
- v = Kecepatan *sliding*

Laju keausan dari suatu material dipengaruhi oleh kondisi kontak. Mekanisme kontak yang terjadi pada komponen utama *front idler* dapat dimodelkan seperti Gambar 7.



Gambar 7. Mekanisme Kontak Silinder Luar Dengan Silinder Dalam

Sedangkan mekanisme kontak tersebut dapat dirumuskan sebagai tegangan kontak Hertz [11] sebagai berikut:

$$b = \sqrt{\frac{4.P'.R^*}{\pi.E^*}} \quad \text{dan} \quad P_o = \sqrt{\frac{P'.E^*}{\pi.R^*}}$$

$$\text{Di mana : } R^* = \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)^{-1}$$

$$E^* = \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} - \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)^{-1}$$

Sehingga dari persamaan di atas didapat [12] :

$$b = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{P'.(R_1.R_2)}{R_2 - R_1} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)}. \quad (8)$$

$$P_o = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{P'(R_2 - R_1)}{R_1.R_2} \cdot \frac{1}{\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}}}. \quad (9)$$

Di mana :

P_o = Tegangan maksimum pada pusat kontak, kN/mm².

P' = Gaya tekan per panjang, N/mm.

b = Setengah lebar kontak, mm.

R_1 = Jari-jari lingkaran material 1, mm.

R_2 = Jari-jari lingkaran material 2, mm.

R^* = Jari-jari efektif, mm

ν_1 = *Poisson ratio* material 1

ν_2 = *Poisson ratio* material 2

E_1 = Modulus Elastis material 1, GPa.

E_2 = Modulus Elastis material 2, GPa.

E^* = Modulus Elastis efektif, GPa

Pada kenyataannya beberapa peneliti menyajikan keausan bukan dalam volume keausan tetapi kedalaman keausan, yang dirumuskan dengan :

$$h_w = \sqrt{\frac{W}{\pi \cdot R^*} \cdot k \cdot L} \quad (10)$$

Di mana :

h_w = Kedalaman keausan, mm

W = Beban normal, N

R^* = Jari-jari efektif, mm

K = Koefisien abrasif, $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$

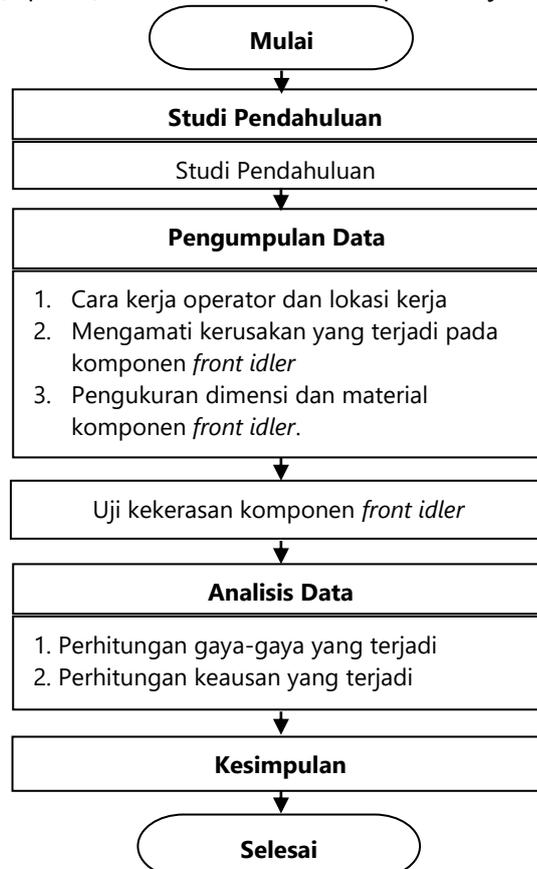
Harga koefisien keausan (K_{ad} , K_{ab} , K_f , K_c) didapat dari eksperimen.

3. Metodologi Penelitian

Beberapa tahapan yang dilakukan dalam analisis keausan *shaft* pada *front idler backhoe* ini antara lain:

1. Melakukan pengamatan cara kerja operator dan lokasi kerja dimana *backhoe* biasa digunakan.
2. Mengamati kerusakan yang terjadi pada komponen *front idler*.
3. Melakukan pengukuran dimensi awal dan dimensi setelah aus pada komponen *front idler* yaitu pada *idler*, *shaft* dan *bushing*.
4. Melakukan uji kekerasan material komponen *front idler* di POLINES untuk mengetahui spesifikasi material yang digunakan.
5. Melakukan perhitungan dan pengolahan data serta melakukan analisis penyebab kerusakan.

Diagram alir untuk keausan *shaft* pada *front idler backhoe* ini dapat ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Alir Analisis Kegagalan

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Backhoe biasanya digunakan untuk pengerukan tanah di lahan pertanian, pengerukan tanah untuk pembuatan pondasi bangunan dan normalisasi sungai. Sehingga kondisi tanah mengandung bebatuan atau pasir yang bersifat abrasif.

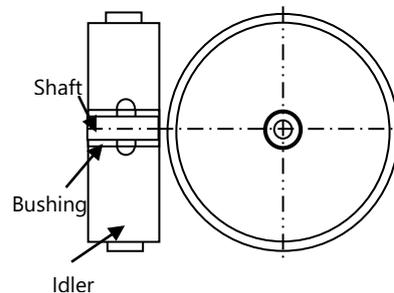
Dari pengamatan yang dilakukan terhadap *front idler*, keausan abrasif terjadi pada lubang *idler* sisi dalam, *shaft* dan *bushing* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. (a). *Front idler Assmby*, (b). *Idler aus*, (c). *Shaft aus*

Secara visual terlihat bahwa *bushing* sudah tidak ada (larut), lubang *idler* mengalami sedikit keausan dan *shaft* mengalami keausan yang parah.

Dimensi awal komponen *front idler*, yaitu *shaft*, *idler* dan *bushing* sebelum terjadi keausan adalah sebagai berikut:

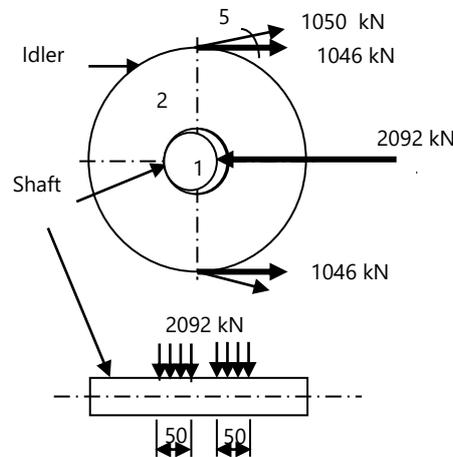


Gambar 10. *Komponen Front Idler*

Tabel 1. Dimensi Awal Komponen *Front Idler* dan Data Material

Spesifikasi	Idler	Bushing (2 buah)	shaft
Material	<i>Carbon steel</i>	<i>Brass</i>	<i>Carbon steel</i>
Kekerasan, Hv	352,4	93,6	116,4
Modulus elastis, E (GPa)	200	110	200
<i>Poisson rasio, v</i>	0,3	0,35	0,3
Jari-jari dalam (mm)	40	32,5	-
Jari-jari luar (mm)	244,5	39,5	32,5
Panjang (mm)	140	50	300

Diagram Benda Bebas (DBB) dari gaya-gaya yang terjadi pada komponen *front idler* yaitu pada *idler* dan *shaft* akibat gaya dari kekencangan *track* adalah sebagai berikut:



Gambar 11. Diagram Benda Bebas Gaya-Gaya Yang Terjadi

Perhitungan

Gaya tekan yang terjadi pada *shaft* sebesar : $P' = \frac{2092/2 \text{ kN}}{50 \text{ mm}} = 20,92 \text{ kN/mm}$

Tegangan maksimum pada pusat kontak menggunakan Persamaan 9 sebesar :

$$P_o = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{P'(R_2 - R_1)}{R_1 \cdot R_2} \cdot \frac{1}{\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}}} \cdot P_o = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{20,92 \cdot (40 - 32,5)}{40 \cdot 32,5} \cdot \frac{1}{\frac{1-0,3^2}{200} + \frac{1-0,3^2}{200}}}$$

$$= 2,05 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}$$

Setengah lebar kontak yang terjadi dari Persamaan 8 didapatkan :

$$b = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{P' \cdot (R_1 \cdot R_2)}{R_2 - R_1} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)}$$

$$b = \frac{2}{\sqrt{3,14}} \sqrt{\frac{20,92 \cdot (40 \cdot 32,5)}{40 - 32,5} \left(\frac{1-0,3^2}{200} + \frac{1-0,3^2}{200} \right)}$$

$$= 6,48 \text{ mm}$$

dari perhitungan di atas kemudian mencari osilasi tiap siklus dan jarak ekuivalen tiap siklus :

$$\text{Osilasi tiap siklus : } \theta = \text{tg}^{-1} \frac{6,48}{40} = 9,2^\circ$$

$$\text{jadi jarak ekuivalen tiap siklus} = \frac{9,2^\circ \cdot 2}{360^\circ} \cdot \pi \cdot 80$$

$$= 12,84 \text{ mm}$$

Kedalaman keausan abrasif yang terjadi pada *shaft* setelah dilakukan pengukuran sebesar 13 mm (h_w). Koefisien abrasif antara baja dan baja sebesar $1 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ [4], $K_{ab} = 1 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{kN.mm}$. Dengan menggunakan persamaan 10 untuk mendapatkan jarak *sliding* L:

$$h_w = \sqrt{\frac{W}{\pi \cdot R^*}} \cdot k \cdot L, \text{ dan } R^* = \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)^{-1} = 173,33 \text{ mm}$$

$$13 = \sqrt{\frac{1046}{3,14.173,33}} 10^{-5} \cdot L$$

$$L = 87,3 \cdot 10^5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah siklus} &= \frac{\text{Jarak sliding}}{\text{Jarak ekuivalen tiap siklus}} \\ &= \frac{87,3 \cdot 10^5}{12,84} = 6,799 \cdot 10^5 \text{ putaran} \end{aligned}$$

Rata-rata *backhoe* bekerja ± 350 putaran per hari.

Jadi keausan sedalam 13 mm seharusnya akan terjadi pada $\frac{6,799 \cdot 10^5}{350} = 1942,57$ hari

Atau setara dengan 6,745 tahun (seminggu = 6 hari)

Tetapi pada kenyataannya keausan *shaft* sedalam 13 mm tersebut terjadi hanya sekitar 1 tahun. Hal ini disebabkan *backhoe* bekerja pada kondisi tanah berpasir dan berbatu sehingga mempercepat keausan.

5. Kesimpulan

Shaft front idler mengalami keausan abrasif. Hal ini dapat dilihat dari goresan-goresan yang nampak pada lokasi keausan pada shaft. Tegangan maksimum yang terjadi pada area kontak sebesar 2,05 kN/mm². Dari pengukuran keausan yang terjadi pada *shaft* sebesar 13 mm (Gambar 9), seharusnya shaft mempunyai *life time* lebih dari 6 tahun. Tetapi pada kenyataannya, keausan sebesar itu hanya terjadi kurang dari 1 tahun. Hal ini dikarenakan adanya faktor eksternal yaitu pasir dan bebatuan yang mempercepat terjadinya abrasi pada *shaft*.

Adapun saran yang dapat diberikan: Perlu mengganti material *shaft* dengan nilai kekerasan yang lebih tinggi dari yang sekarang terpakai. Nilai kekerasan shaft yang disarankan sekitar 250 HV.

Perlu kiranya setiap hari setelah pekerjaan selesai dilakukan, operator membersihkan pasir dan bebatuan yang masih menempel pada *track system* utamanya pada *front Idle*.

6. Daftar Pustaka

- [1] Rochmanhadi, "Alat-alat Berat dan Penggunaannya", Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum Jakarta, 1992
- [2] V. Hegadekatte, S. Kurzenhäuser, N. Huber, and O. Kraft, "A predictive modeling scheme for wear in tribometers," *Tribology International*, vol. 41, no. 11, pp. 1020–1031, Nov. 2008.
- [3] S. Kurzenhäuser, V. Hegadekatte, J. Schneider, N. Huber, O. Kraft, and K.-H. Zum Gahr, "Tribological characterization and numerical wear simulation of microcomponents under sliding and rolling conditions," *Microsystem Technologies*, vol. 14, no. 12, pp. 1839–1846, Aug. 2008.
- [4] S. Mukras, N. H. Kim, W. G. Sawyer, D. B. Jackson, and L. W. Bergquist, "Numerical integration schemes and parallel computation for wear prediction using finite element method," *Wear*, vol. 266, no. 7–8, pp. 822–831, Mar. 2009.
- [5] A. A. D., Q. Qomaruddin, and Masruki Khabib, "Analisa Gesekan Pengereman Hidrolis (Rem Cakram) Dan Tromol Pada Kendaraan Roda Empat Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Prosiding SNATIF*, pp. 667-678, 2017.
- [6] M. K. Umboh, T. A. R. Arungpadang, and B. Davidson, "Analisis Komposisi Kimia Plat Rantai Yamaha MX 135 Menggunakan Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS)," *Jurnal Tekno Mesin*, vol. 7, no. 1, pp 30-34, Jun. 2021.
- [7] X. Salahudin, S. F. Aziz, N. Mulyaningsih, and S. Widodo, "Analisis Laju Keausan Ring Ball Bearing Hasil Perlakuan Quenching," *MEKANIK Jurnal Ilmiah Teknik Mesin ITM*, vol. 7, no. 1, pp. 44 – 50, May 2021.

- [8] N. D Rizaldy, and S. Johannes "Analisis Perubahan Sifat Pelumas Terhadap Keausan Dan Performa Mesin SAA12V140E-3 Komatsu HD785-7," *Jurnal Material Teknologi Proses*, vol. 2, no. 1, pp.6-12, 2021.
- [9] M. N. Askhuri, E. Suryono, and B. Burhannudin, "Perbandingan Chips Morfologi Dan Tingkat Keausan Pada Proses Drilling Dengan Twist Drill Standar Dan Twist Drill Ber Splitting Nicks," *Jurnal Teknika*, vol. 6 no. 4, pp. 167 – 174, Sept. 2020.
- [10] "Wear Mechanisms," *Modern Tribology Handbook*, Two Volume Set, pp. 303–330, Dec. 2000.
- [11] K. L. Johnson, "Contact Mechanics," May 1985.
- [12] T. Stolarski, Y. Nakasone, and S. Yoshimoto, "Engineering Analysis with ANSYS Software," 2018.