

Analisis Kegagalan *Bearing* Pada Mesin Pencacah Sampah Di TPSA Bagendung

Ganjar Kurnia, M. Luthfi Sonjaya, Tito Alfarizi, Endang Jaelani
Teknologi Mesin Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten
Email: ganjar.kurnia@poltek-petrokimia.ac.id

ABSTRAK

Bearing merupakan komponen penting yang memastikan kelancaran operasional mesin pencacah, namun sering mengalami kerusakan akibat keausan, pelumasan yang tidak memadai, dan beban kerja yang berlebihan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kegagalan pada *bearing* UCFC215 yang digunakan dalam mesin pencacah sampah di Tempat Pengolahan Sampah Akhir (TPSA) Bagendung. Penelitian dilakukan dengan metode studi kasus melalui pengamatan langsung terhadap kondisi *bearing* yang mengalami kegagalan, diikuti dengan analisis *fishbone* dan menggunakan teori mekanika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan *bearing* disebabkan oleh keausan yang melampaui batas toleransi desain, ketidakseimbangan gaya, dan distribusi tekanan yang tidak merata selama operasi mesin. Gaya aksial yang bekerja secara tidak terduga menyebabkan peningkatan tekanan pada elemen-elemen *bearing*, mempercepat keausan, dan menurunkan efisiensi operasional. Analisis juga menemukan bahwa pelumas yang tidak sesuai dengan spesifikasi menambah risiko kerusakan komponen. Sebagai solusi, penelitian ini merekomendasikan penerapan perawatan terjadwal, termasuk pelumasan dan pemeriksaan rutin untuk mendeteksi kerusakan lebih awal. Penggunaan *bearing* dengan kualitas tinggi yang sesuai dengan beban operasional mesin dan pemasangan aksial *bearing* juga disarankan untuk mengurangi dampak gaya aksial yang bekerja. Langkah-langkah ini diharapkan dapat memperpanjang umur pakai *bearing*, meningkatkan efisiensi pengolahan sampah, dan mendukung operasional TPSA Bagendung yang lebih berkelanjutan.

Kata kunci: *bearing*, mesin pencacah sampah, TPSA Bagendung, kegagalan *bearing*, gaya aksial.

ABSTRACT

Bearings play a critical role in ensuring the smooth operation of shredding machines, but they often suffer from damage due to wear, insufficient lubrication, and excessive workload. This study aims to analyze the causes of failure in UCFC215 bearings used in waste shredding machines at the Bagendung Final Waste Processing Facility (TPSA). The research employs a case study method, involving direct observation of failed bearings, followed by fishbone analysis and based on mechanics theory. The findings reveal that bearing failure is primarily caused by wear exceeding design tolerances, imbalanced forces, and uneven pressure distribution during machine operation. Unexpected axial forces further increase stress on bearing components, accelerating wear and reducing operational efficiency. Additionally, the use of lubricants not meeting specified standards exacerbates the risk of component failure. To address these issues, this study recommends implementing scheduled maintenance, including lubrication and periodic inspections to detect early signs of damage. The use of high-quality bearings that align with the machine's operational load and the installation of axial bearings are also suggested to mitigate the impact of axial forces. These measures are expected to extend the service life of bearings, improve waste processing efficiency, and support more sustainable operations at TPSA Bagendung.

Keywords: *bearing*, waste shredding machine, Bagendung TPSA, bearing failure, axial forces.

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah yang efisien di Tempat Pengolahan Sampah Akhir (TPSA) Bagendung menjadi semakin penting seiring dengan meningkatnya *volume* sampah yang dihasilkan oleh masyarakat. Efisiensi dalam pengolahan sampah tidak hanya membantu mengurangi dampak lingkungan tetapi juga dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat sekitar. Salah satu teknologi yang berperan penting dalam pengelolaan limbah di TPSA adalah mesin pencacah sampah, yang mampu mempercepat proses penguraian dan pengolahan sampah organik (Sunarto et al., 2015).

Penelitian terkait efisiensi pengolahan sampah telah banyak dilakukan untuk meningkatkan efektivitas teknologi yang digunakan. Misalnya, studi menunjukkan bahwa penggunaan mesin pencacah dengan sistem pemotongan multi-tahap dapat meningkatkan efisiensi penguraian sampah organik hingga 30% dibandingkan dengan sistem konvensional (Marthiana et al., 2018). Sementara itu, penelitian lain membahas tentang optimalisasi desain *bearing* pada mesin pencacah untuk mengurangi gesekan dan meningkatkan ketahanan terhadap beban kerja yang tinggi (Yun Le et al., 2014). Selain itu, studi lainnya menyoroti pentingnya pemilihan pelumas dengan viskositas yang sesuai untuk memperpanjang umur pakai *bearing* dan mengurangi potensi kegagalan komponen mekanis (Song et al., 2022). Penelitian lainnya mengungkapkan bahwa perawatan rutin dan pemantauan kondisi *bearing* pada mesin pencacah berkontribusi secara signifikan dalam mengurangi *downtime* operasional dan meningkatkan efisiensi pengolahan (Zheng, 2019).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kajian ini berfokus pada analisis kegagalan *bearing* pada mesin pencacah sampah di TPSA Bagendung serta strategi mitigasi yang dapat diterapkan untuk

meningkatkan keandalan mesin. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih banyak membahas desain mesin atau efisiensi pengolahan, penelitian ini secara khusus mengevaluasi faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan *bearing* dan bagaimana pemeliharaan yang tepat dapat memperpanjang umur pakainya. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efisiensi operasional TPSA dan mendukung pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan.

Mesin pencacah sampah di TPSA Bagendung dirancang untuk mengoptimalkan proses pengolahan sampah dengan cara memotong dan menghancurkan sampah organik menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Proses ini tidak hanya mempercepat waktu penguraian tetapi juga meningkatkan efisiensi dalam produksi kompos (Suryawan, 2022). Namun, meskipun mesin pencacah sampah memberikan banyak manfaat, terdapat masalah teknis yang sering muncul, yaitu kegagalan pada *bearing* mesin. *Bearing* merupakan komponen penting yang memungkinkan bagian-bagian mesin bergerak dengan lancar (Khaire, 2021). Kegagalan *bearing* dapat menyebabkan mesin berhenti beroperasi, yang pada akhirnya menghambat proses pengolahan sampah.

Kegagalan *bearing* pada mesin pencacah sampah sering kali disebabkan oleh beban kerja yang berlebihan dan kurangnya perawatan rutin. Beban kerja yang tinggi dapat menyebabkan *bearing* mengalami keausan lebih cepat, sementara kurangnya perawatan dapat mengakibatkan penumpukan kotoran dan pelumas yang tidak memadai, yang mempercepat kerusakan (Massi et al., 2014).

Bearing yang digunakan pada mesin pencacah sampah di TPSA bagendung adalah *ball bearing* tipe UCFC215. Kerusakan yang biasa terjadi pada *ball bearing* meliputi kerusakan lokal, seperti adanya lecet atau lubang pada lintasan bagian dalam, bagian

luar, serta bola. Jika kerusakan tersebut menyebar, maka gaya kontak akan berubah secara berkala. Penyebabnya antara lain adalah ketidaksempurnaan bentuk lintasan luar dan dalam, ketidaksejajaran sumbu antara lintasan luar dan dalam (*misalignment*), serta perbedaan ukuran bola. Selain itu, masalah juga dapat muncul akibat perubahan karakteristik pelumas. Pelumas dengan tingkat kekentalan yang sesuai mampu membentuk lapisan film pelumas yang kokoh di celah bantalan (*bearing clearance*), sehingga dapat mengurangi gesekan dan kebocoran. Namun, kekentalan pelumas bisa menjadi lebih cair akibat adanya kontaminasi atau kerusakan pada komponen aditif polimer (Soni et al., 2017).

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan strategi perawatan yang efektif dan terjadwal. Perawatan rutin seperti pelumasan dan pemeriksaan kondisi *bearing* secara berkala dapat membantu memperpanjang umur pakai *bearing* dan mencegah kerusakan yang lebih serius. Selain itu, penggunaan *bearing* dengan kualitas yang lebih baik dan sesuai dengan spesifikasi mesin juga dapat mengurangi risiko kegagalan (Liu et al., 2017).

Pentingnya efisiensi pengolahan sampah di TPSA Bagendung dan peran mesin pencacah sampah dalam pengelolaan limbah tidak dapat diabaikan. Dengan mengatasi masalah teknis seperti kegagalan *bearing* dan menerapkan strategi perawatan yang tepat, TPSA dapat berfungsi secara optimal dan berkontribusi pada pengelolaan sampah yang berkelanjutan

METODOLOGI

Untuk melakukan penelitian yang bertujuan membandingkan kejadian kegagalan aktual pada *bearing* UCFC215 dengan hasil analisis berbasis pendekatan manual, metode yang tepat adalah studi kasus. Metode ini memungkinkan peneliti untuk mendalami penyebab kegagalan dan membandingkannya

dengan hasil perhitungan teoretis tanpa melibatkan penggunaan *software*.

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data lapangan, yang mencakup pengamatan langsung terhadap kondisi *bearing* yang mengalami kegagalan. Gambar 1 adalah mesin pencacah sampah dan *bearing* yang digunakannya. Untuk memperjelas pola kegagalan dan membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih terarah, penelitian ini juga menggunakan *fishbone diagram* (Ishikawa Diagram) sebagai salah satu alat analisis. Diagram ini memungkinkan identifikasi berbagai faktor potensial yang berkontribusi terhadap kegagalan *bearing* UCFC215, seperti beban berlebih, pelumasan yang tidak memadai, atau kesalahan dalam pemasangan. Penyusunan diagram dilakukan berdasarkan data inspeksi lapangan. Dengan menggunakan metode ini, hubungan antara berbagai penyebab kegagalan dapat divisualisasikan secara sistematis, sehingga memudahkan dalam menentukan faktor dominan yang perlu ditindaklanjuti lebih lanjut. Hasil analisis ini kemudian dibandingkan dengan data perhitungan manual untuk melihat apakah faktor-faktor yang teridentifikasi sesuai dengan temuan teoretis.



Gambar 1. *Bearing* pada Mesin Pencacah Sampah TPSA Bagendung

Data operasional dapat dilihat pada tabel 1. Selain itu, kerusakan fisik pada *bearing*, seperti keausan, retakan, atau deformasi, dianalisis melalui inspeksi visual dan pengukuran dimensi menggunakan alat konvensional, seperti jangka sorong, mikrometer atau *dial gauge*.

Tabel 1. Data Operasional

Parameter	Data
Jenis Penggerak	Motor listrik Tiga fasa
Daya output	22 KW
Kecepatan Putar	1470 rpm
Jenis transmisi	Pulley
Diameter pulley driver	125 mm
Diameter Pulley driven	380 mm
Shaft	75 mm
Jenis <i>bearing</i> dan pillow block	UCFC 215

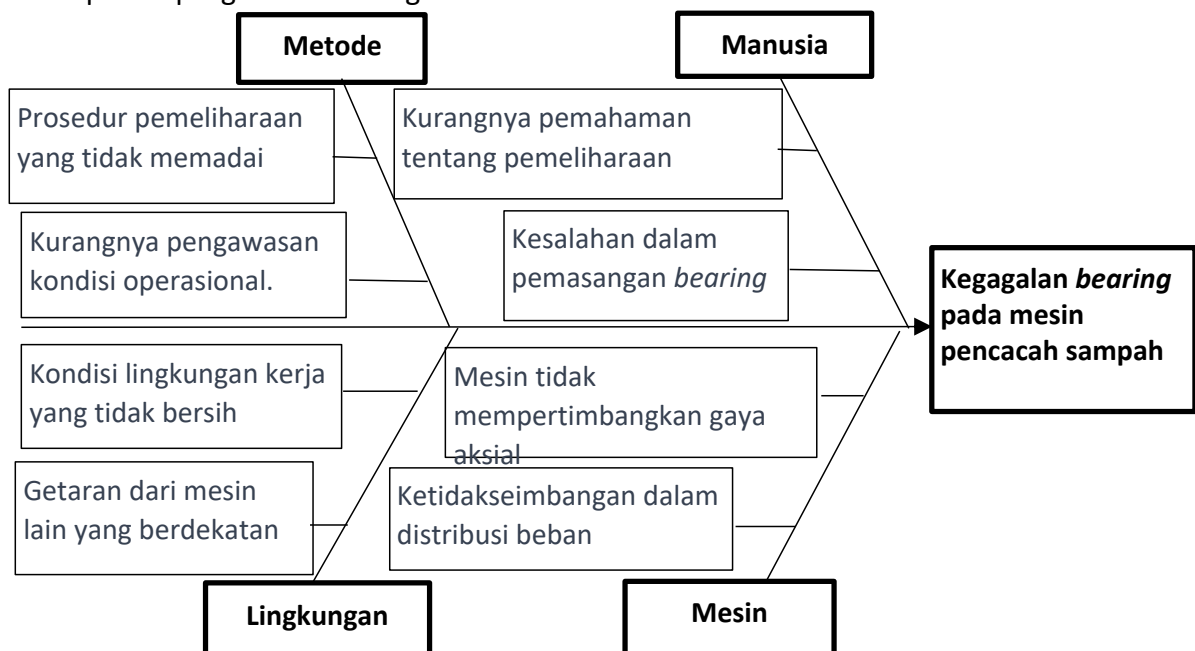
Langkah berikutnya adalah analisis manual menggunakan pendekatan teoritis. Dalam tahap ini, peneliti menggunakan rumus-rumus mekanika dan teori pelumasan untuk menghitung parameter-parameter yang relevan, seperti tegangan kontak, distribusi gaya, dan umur pakai *bearing*. Data dari analisis ini kemudian dibandingkan dengan hasil inspeksi lapangan untuk mengidentifikasi

kesesuaian atau perbedaan antara prediksi teoretis dan kondisi aktual.

Penelitian ini memberikan kesempatan untuk mengeksplorasi penyebab utama kegagalan *bearing* secara lebih rinci dan mendalam. Dengan tidak menggunakan *software*, pendekatan ini mengedepankan ketelitian analisis manual dan pemahaman teoritis yang mendalam, sehingga dapat memberikan wawasan yang lebih komprehensif mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kinerja *bearing* UCFC215 dalam kondisi nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap analisis kegagalan dimulai dengan analisa *fishbone* untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama penyebab kegagalan *bearing* UCFC215. Proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memahami mekanisme kegagalan yang terjadi serta faktor-faktor penyebabnya. Analisis diawali dengan pemeriksaan visual untuk mendokumentasikan jenis dan lokasi kerusakan pada permukaan *bearing*, seperti retak, keausan, deformasi, atau tanda-tanda korosi yang muncul selama masa operasional. Gambar 2 berikut adalah *fishbone diagram* untuk analisa kegagalan *bearing*



Gambar 2. Fishbone diagram

Dalam analisis kegagalan *bearing* UCFC215, beberapa faktor penyebab yang diidentifikasi mencakup aspek manusia, metode, mesin, dan lingkungan. Dari segi manusia, kurangnya pemahaman operator tentang pemeliharaan *bearing* dan kesalahan dalam pemasangan dapat berkontribusi signifikan terhadap kerusakan yang terjadi. Operator yang tidak terlatih dengan baik mungkin tidak menyadari pentingnya prosedur pemeliharaan yang tepat, sehingga mengabaikan langkah-langkah kritis yang diperlukan untuk menjaga kinerja *bearing*. Selain itu, kesalahan dalam pemasangan *bearing* dapat menyebabkan ketidakcocokan dan meningkatkan risiko keausan yang lebih cepat, yang pada akhirnya mempengaruhi umur pakai komponen.

Di sisi metode, prosedur pemeliharaan yang tidak memadai dan kurangnya pengawasan terhadap kondisi operasional dapat memperburuk situasi. Tanpa adanya prosedur yang jelas dan terstandarisasi, pemeliharaan rutin mungkin tidak dilakukan secara konsisten, sehingga masalah kecil dapat berkembang menjadi kerusakan yang lebih serius. Selain itu, desain mesin yang tidak mempertimbangkan gaya aksial dan ketidakseimbangan dalam distribusi beban dapat menyebabkan stres berlebih pada *bearing*, mempercepat keausan. Lingkungan kerja yang tidak bersih dan adanya getaran dari mesin lain yang berdekatan juga dapat berkontribusi pada kerusakan *bearing*, mengingat bahwa kondisi lingkungan yang buruk dapat mempercepat proses keausan dan korosi. Oleh karena itu, penting untuk mengatasi semua faktor ini secara holistik untuk meningkatkan kinerja dan keandalan sistem. Selanjutnya, untuk memahami lebih dalam mengenai kerusakan yang terjadi, dilakukan pengukuran dimensi dan pemeriksaan clearance menggunakan alat bantu seperti *dial indicator*. Proses ini bertujuan untuk memperoleh data yang lebih mendetail tentang jenis

kerusakan yang dialami *bearing*. Jika ditemukan indikasi adanya retak, deformasi, dan clearance berlebih, maka analisis lebih lanjut terhadap jenis dan arah tegangan yang menyebabkan kegagalan akan dilakukan. Hal ini penting untuk mengidentifikasi faktor penyebab spesifik, seperti beban berlebih, pelumasan yang tidak memadai, atau kondisi lingkungan yang kurang sesuai. Dengan mengaitkan hasil pengukuran ini dengan faktor-faktor yang telah diidentifikasi sebelumnya, diharapkan dapat ditemukan solusi yang lebih efektif untuk mencegah terulangnya kegagalan pada *bearing* di masa mendatang. Pertama clearance pada bagian aksial dan radila *bearing* diukur menggunakan *dial indicator*. Dapat dilihat pengukuran clearance *bearing* pada gambar 3 berikut



(a) (b)
Gambar 3 . Pengukuran Clearance Bearing a) Aksial b) Radial

Dari hasil pengukuran arah radial didapatkan clearance *bearing* 0.04 mm dan arah aksial didapatkan clearance *bearing* sebesar 0.3 mm. kedua clearance *bearing* ini sudah lewat dari standar yang diizinkan untuk clearance. Standar yang digunakan untuk clearance *bearing* ini adalah JIS B 1558 ("Japanese Industrial Standard JIS B 1558:2009. *Rolling bearings — Insert bearings and eccentric locking collars,*" 2009), dapat dilihat pada tabel 2 berikut

Tabel 2. JIS B 1558

Nominal <i>Bearing</i> Bore dia. d(mm)		Internal Clearance											
		C2		CN		GN		C3		C4		C5	
Over	Incl.	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
6	10	0	7	2	13	-	-	8	23	14	29	20	37
10	18	0	9	3	18	10	25	11	25	18	33	25	45
18	24	0	10	5	20	12	28	13	28	20	36	28	48
24	30	1	11	5	20	12	28	13	28	23	41	30	53
30	40	1	11	6	20	13	33	15	33	28	46	40	64
40	50	1	11	6	23	14	36	18	36	30	51	45	73
50	65	1	15	8	28	18	43	23	43	38	61	55	90
65	80	1	15	10	30	20	51	25	51	46	71	65	105
80	100	1	18	12	36	24	58	30	58	53	84	75	120
100	120	2	20	15	41	28	66	36	66	61	97	90	140
120	140	2	23	18	48	33	81	41	81	71	114	105	160

Catatan:

1. Clearance internal radial dalam tabel ini sesuai dengan JIS B 1558 (*Ball Bearing Inserts*).
2. Peningkatan clearance internal radial yang dihasilkan oleh beban terukur sesuai dengan tabel Koreksi yang lebih kecil untuk clearance C2 berlaku pada batas minimum

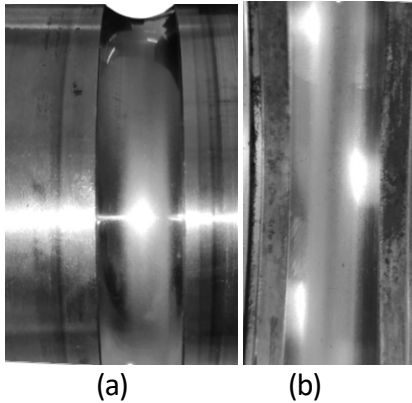
Dari tabel diatas *clearance* untuk *bearing* dengan poros ukuran 75 mm dan aplikasi tipe standar (CN) adalah 10-30 μm . Standar untuk *clearance* radial ini jauh jika dibandingkan dengan nilai *clearance* yang diperoleh yaitu 0.04 mm (4000 μm). *Bearing* bekerja dengan prinsip gesekan antara elemen-elemen bergerak di dalamnya, yang lama kelamaan dapat menyebabkan keausan pada permukaan kontak. Keausan ini dapat memperbesar celah (*clearance*) antara komponen *bearing*, terutama antara *inner ring* (ring dalam) dan *outer ring* (ring luar). Jika keausan ini tidak terkendali, *clearance* bisa bertambah jauh melebihi batas toleransi yang diinginkan. Hal ini akan mengurangi kinerja *bearing*, meningkatkan getaran, dan mempercepat kerusakan pada komponen lainnya dalam sistem (Rabeyee et al., 2018). Oleh karena itu, penting untuk melakukan pemeliharaan dan pemeriksaan secara rutin guna mendeteksi tanda-tanda keausan lebih awal, serta memastikan bahwa *bearing*

beroperasi dalam batas toleransi yang ditentukan.

Selain itu gaya impak saat operasi pencacahan sampah yang terjadi dapat menyebabkan ketidakseimbangan pada distribusi tekanan di dalam *bearing*. Beban ini dapat menghasilkan tegangan yang berlebihan pada area tertentu di dalam *bearing*, terutama pada titik kontak antara elemen-elemen bergerak (seperti bola atau *roller*) dengan permukaan *raceway*. Beban yang tiba-tiba dan tidak merata ini dapat menyebabkan keausan yang lebih cepat di beberapa titik, memperbesar *clearance* dan memperpendek umur pakai *bearing* secara keseluruhan (ZHANG et al., 2018). Oleh karena itu, penting untuk mengimplementasikan strategi pemeliharaan yang proaktif dan menggunakan material berkualitas tinggi dalam desain *bearing* untuk meminimalkan dampak dari gaya impak tersebut.

Untuk arah aksial tidak ditemukan standar yang untuk *bearing* UCFC 215, dikarenakan *bearing* ini adalah jenis *bearing* radial dan

desain untuk menahan gaya radial bukan gaya aksial. Dapat dilihat pada gambar 4 penampang *inner* dan *outer ring*.



Gambar 4. Alur gesekan *Ball* pada a) *inner* b) *outer*

Dapat dilihat pada penampang *inner ring* dan *outer ring* terdapat alur yang lebih condong ke sebelah kanan mengindikasikan adanya gaya aksial ke arah kanan yang bekerja pada *bearing* radial ini. Hal ini menyebabkan adanya distribusi beban yang tidak merata pada elemen-elemen *rolling bearing*, yang dapat mengakibatkan peningkatan keausan pada bagian yang lebih tertekan. Selain itu, gaya aksial yang bekerja ini dapat mempengaruhi kinerja keseluruhan dari sistem, seperti peningkatan suhu operasional dan penurunan efisiensi. Jika kondisi ini dibiarkan berlanjut, dapat menyebabkan kegagalan prematur pada *bearing*, yang pada gilirannya akan berdampak negatif pada umur pakai komponen mesin lainnya (Ejaz et al., 2015). Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan untuk memasang aksial *bearing* mengingat pada mesin ada gaya aksial yang terjadi.

KESIMPULAN

Efisiensi pengelolaan sampah di TPSA Bagendung dapat ditingkatkan dengan menggunakan mesin pencacah sampah, yang mampu mempercepat proses penguraian limbah organik dan meningkatkan kualitas kompos. Mesin ini memiliki kapasitas tinggi,

yaitu 100 kg/jam, sehingga sangat membantu dalam menangani volume sampah yang besar. Namun, permasalahan teknis seperti kegagalan *bearing* sering menjadi hambatan dalam operasional yang optimal. Penyebab utama kegagalan *bearing* adalah beban kerja berlebih, kurangnya perawatan rutin, dan kondisi pelumas yang tidak sesuai, yang mempercepat keausan pada komponen. Hasil analisis menunjukkan bahwa *clearance bearing* yang melebihi standar telah menyebabkan peningkatan getaran dan tegangan pada elemen mesin lainnya, yang berdampak negatif terhadap kinerja keseluruhan sistem. Oleh karena itu, penerapan strategi perawatan proaktif, seperti pelumasan berkala, pemantauan kondisi *bearing*, dan penggunaan *bearing* berkualitas tinggi, sangat penting untuk memperpanjang umur pakai komponen. Penelitian ini memberikan wawasan mendalam mengenai penyebab dan solusi untuk kegagalan *bearing*, sehingga mendukung keberlanjutan pengelolaan sampah yang lebih efisien di TPSA Bagendung.

DAFTAR PUSTAKA

- Ejaz, N., Ali, L., & Rizvi, S. A. (2015). Failure of an Aero Engine Ball *Bearing* Due to Axial Loading. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 15(1). doi: 10.1007/s11668-014-9913-4
- Japanese Industrial Standard JIS B 1558:2009. *Rolling bearings — Insert bearings and eccentric locking collars*. (2009). Japan Standard Association,.
- Khair, M. (2021). Role of *Bearings* in New Generation Automotive Vehicles: Powertrain. In *Advanced Applications of Hydrogen and Engineering Systems in the Automotive Industry*. doi: 10.5772/intechopen.94222

- Liu, X., Song, P., Yang, C., Hao, C., & Peng, W. (2017). Prognostics and health management of *bearings* based on logarithmic linear recursive least-squares and recursive maximum likelihood estimation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(2). doi: 10.1109/TIE.2017.2733469
- Marthiana, W., Duskiardi, Arman, R., Mahyoedin, Y., & Wardiyanto, D. (2018). Design and Production of Rotary Type Machine for Chop Up Organic Waste Plantation. *MATEC Web of Conferences*, 248. doi: 10.1051/mateconf/201824801010
- Massi, F., Bouscharain, N., Milana, S., Le Jeune, G., Maheo, Y., & Berthier, Y. (2014). Degradation of high loaded oscillating *bearings*: Numerical analysis and comparison with experimental observations. *Wear*, 317(1–2). doi: 10.1016/j.wear.2014.06.004
- Rabeyee, K., Tang, X., Xu, Y., Zhen, D., Gu, F., & Ball, A. D. (2018). Diagnosing the change in the internal clearances of rolling element *bearings* based on vibration signatures. *ICAC 2018 - 2018 24th IEEE International Conference on Automation and Computing: Improving Productivity through Automation and Computing*. doi: 10.23919/ICAC.2018.8749121
- Song, X., Wu, Y., Shen, L., Wang, W., Lei, B., Zhi, R., & Ma, C. (2022). Comparative experimental analysis of the effect of lubricant viscosity on the performance of a single-screw expander with different structures. *Journal of Energy Storage*, 52. doi: 10.1016/j.est.2022.104958
- Soni, A., & Patel, V. K. (2017). Review and Study of Effect of Water Contaminants in Lubrication in Ball *Bearing* through Vibration Analyses. *Materials Today: Proceedings*, 4(2). doi: 10.1016/j.matpr.2017.02.148
- Sunarto, P. Hadi, S., & . P. (2015). JEJAK KARBON PENGOLAHAN SAMPAH DI tps tlogomas malang. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 12(2). doi: 10.22219/jmts.v12i2.2291
- Suryawan, I. W. K. (2022). Design and SWOT Analysis of Compost Shredder Machine at Waste Processing Sites - Reduce, Reuse, Recycle (TPS-3R). *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, 5(2). doi: 10.14710/potensi.2022.13737
- Yun Le, Jiancheng Fang, & Kun Wang. (2014). Design and Optimization of a Radial Magnetic *Bearing* for High-Speed Motor With Flexible Rotor. *IEEE Transactions on Magnetics*, 51(6). doi: 10.1109/tmag.2014.2386298
- ZHANG, T., CHEN, X., GU, J., & WANG, Z. (2018). Influences of preload on the friction and wear properties of high-speed instrument angular contact ball *bearings*. *Chinese Journal of Aeronautics*, 31(3). doi: 10.1016/j.cja.2017.07.006
- Zheng, Y. (2019). Predicting Remaining Useful Life Using Continuous Wavelet Transform Integrated Discrete Teager Energy Operator with Degradation Model. *2019 IEEE 5th International Conference on Computer and Communications, ICC 2019*. doi: 10.1109/ICCC47050.2019.9064232