Analisis keausan *slewing gear* 242-UB1 area unit *ship unloader* PT Solusi Bangun Indonesia Tbk

Fikry Alvianto Kurniawan, Stephanus Danny Kurniawan, Handoko, Braam Delfian Prihadianto

Departemen Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada
Bulaksumur, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
Email korespondensi: fikryalviantok2001@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Ship Unloader merupakan unit peralatan untuk memindahkan material dari unit laut ke unit lain yang berkaitan dengan proses produksi dengan melakukan gerakan travel oleh slewing gear. Masalah kerusakan di slewing gear dimulai setelah melakukan pemeriksaan dan penggantian komponen. Gear tooth pada slewing gear mengalami keausan yang abnormal. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis keausan slewing gear 242-UB1 pada area unit Ship Unloader di PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. Metode yang diterapkan yaitu survei lapangan, pengumpulan data, dan diagram fishbone. Bahan dan alat pengujian antara lain dial indicator, filler gauge, lead wire, slewing gear, dan vernier calliper. Data diperoleh dari pemantauan pada unit dan peralatan dengan analisis RCA. Hasil analisis menunjukkan bahwa backlash merupakan faktor yang berkontribusi secara signifikan terhadap keausan dengan nilai terparah 2,0 mm. Selain itu, persentase keausan pada top gear mencapai 25% yang artinya sudah mencapai batas zona merah. Cara mengurangi potensi keausan akibat backlash dengan pemantauan rutin terhadap celah backlash secara online melalui sensor. Dalam kesimpulan, kajian mengungkapkan bahwa keausan komponen terkait erat dengan fenomena backlash. Dalam mengatasi masalah ini, pemantauan rutin, perbaikan yang tepat waktu, dan pemilihan material dan pelumas yang sesuai dianggap sebagai tindakan yang dapat mengurangi potensi keausan dan meningkatkan umur pakai komponen.

Kata kunci: metode RCA, diagram tulang ikan, slewing gear, ship unloader, backlash.

Abstract

Ship Unloader is a unit of equipment to move materials from marine units to other units related to the production process by performing travel movements by slewing gear components. The problem of damage in the slewing gear began after inspecting and replacing components. The gear tooth on the slewing gear experiences abnormal wear. This study aims to analyze the wear of the slewing gear component 242-UB1 in the Ship Unloader unit area at PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. The research methods are field surveys, data collection, and fishbone diagrams. Research materials and tools include dial indicator, filler gauge, lead wire, slewing gear components, and vernier calliper. Data was obtained from monitoring the unit and equipment with RCA analysis. The analysis showed that backlash was a significant contributing factor to wear with the worst value of 2.0 mm. In addition, the percentage of wear on the top gear reached 25%, which means it has reached the red zone limit. How to reduce potential wear due to backlash by regular monitoring of the backlash gap online through sensors. In conclusion, the study revealed that component wear is closely related to the backlash phenomenon. In addressing this issue, regular monitoring, timely repairs, and selection of appropriate materials and lubricants are considered as measures that can reduce wear potential and increase component life.

Keywords: RCA method, fishbone diagram, slewing gear, ship unloader, backlash.

1. Pendahuluan

PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. merupakan salah satu contoh perusahaan semen terbesar di Indonesia dan tentunya banyak menggunakan alat berat. Dalam industri semen, *Ship Unloader* adalah salah satu unit peralatan material yang mempunyai fungsi untuk memindahkan material dari unit angkutan laut ke unit lainnya yang berkaitan erat dengan keseluruhan proses produksi. Pengertian *Ship Unloader* adalah *Crane* yang memiliki ukuran sangat besar, dibuat khusus disertai kombinasi dengan penggaruk (*grab*) untuk pengambilan material dari kapal tongkang ke *conveyor*. Dalam industri semen, *Ship Unloader* merupakan salah satu unit dari fasilitas transportasi material (*material handling equipment*) yang berfungsi untuk memindahkan material dari unit transportasi laut ke unit transportasi lainnya yang berkaitan erat dengan proses produksi secara keseluruhan.

Proses pemindahan *limestone* dari tongkang ke *conveyor* membutuhkan *Ship Unloader* untuk melakukan gerakan *swing* untuk memutar gerakan unit. Sistem yang bekerja adalah sistem pemindah daya. Salah satu komponen yang bekerja adalah *slewing gear* yang merupakan komponen yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan pada saat gerakan *travel*. *Slewing gear* adalah komponen yang penting pada unit *Ship Unloader* dan memiliki

peranan penting di daerah pelabuhan. Komponen tersebut berfungsi untuk mereduksi kecepatan yang diperoleh dari motor penggerak menjadi kecepatan yang diinginkan.

Permasalahan terjadi ketika dilakukan pengecekan mingguan di *Preventive Maintenance Department* dan mekanik merasakan ketika melakukan *travelling* terasa berat. Ketika dilakukan pengecekan, ditemukan *gear* yang sudah mulai aus pada bagian atas *gear.* Penggantian komponen baru dilakukan ketika *overhaul* di Bulan Mei 2021. Komponen yang mengalami keausan tersebut merupakan kejadian pertama yang terjadi di *Ship Unloader*.

Gambar 1. Ship unloader.

Dari bukti yang telah disampaikan, kajian ini bertujuan untuk menemukan penyebab kerusakan yang terjadi di bagian *slewing gear* tersebut untuk dapat dilakukan pencegahan, agar kejadian tersebut tidak terulang kembali serta menghitung laju keausan yang terjadi di *slewing gear*.

Komponen *slewing gear* yang digunakan adalah *slewing gear* dengan nomor komponen 242-UB1. Data-data yang digunakan, diambil dari mekanik pada unit *Ship Unloader Type* ST-940-D dan karyawan *Preventive Maintenance Department,* serta kajian ini tidak dilakukan pengujian kekerasan dan keausan pada material, agar pembahasan tidak terlalu luas dan komponen terikat di dalam masa garansi (*warranty*).

Menurut ASTM, keausan adalah kerusakan permukaan pada objek secara umum yang berhubungan dengan hilangnya sebagian kecil bahan yang ditimbulkan oleh gerakan relatif objek dan karena substansi kontak [1]. Terdapat 4 jenis keausan yaitu: 1) *addhesive wear;* 2) *abbrasive wear;* 3) *surface fatigue wear;* dan 4) *tribo chemical wear* [2]. Cara untuk mengurangi keausan salah satunya adalah pemberian cairan pelumas pada permukaan yang bergesekan. Selain itu, penyebab keausan dapat dihindari dengan menggunakan metode RCA *(Root Cause Analysis)* dan perlu data yang akurat untuk menemukan masalah yang dialami alat tersebut. Setiap peristiwa akan diselidiki, agar mengetahui penyebab dari kerusakannya yang berdasar empat faktor, yaitu *machine* (mesin), *man power* (manusia), *method* (metode), dan *material*. Diagram *fishbone* atau RCA dapat digunakan untuk menemukan penyebab dari keausan yang terjadi di *slewing gear.*

Gambar 2. Slewing gear.

Terdapat lima cara dalam mengidentifikasi sumber penyebab pada kejadian yang tidak diinginkan. Metode-metode tersebut mulai dari sederhana hingga yang cukup kompleks yaitu *is/is not comparative analysis,* 5 *why methods, fishbone diagram, cause and effect matrix,* dan *root cause tree* [3]. Cara yang digunakan untuk menganalisis komponen *slewing gear* tersebut adalah menggunakan metode RCA (*Root Cause Analysis*). *Root Cause Analysis* terdapat pemodelan korelasi antara suatu peristiwa dan penyebab yang terjadi [4].

Salah satu bentuk dari metode RCA adalah diagram tulang ikan atau *fishbone.* Beberapa kajian terdahulu menggunakan diagram *fishbone* untuk menganalisis penyebab kerusakan. Salah satu perusahaan komponen *rolling bearing* menggunakan metode diagram *fishbone* [5]. Diagram *fishbone* juga digunakan untuk menentukan penyebab kerusakan lori pengangkut. Berdasarkan analisis diagram *fishbone*, kerusakan diperoleh berdasarkan diagram tulang ikan antara lain, manusia, material, kondisi sekitar (lingkungan), dan mesin [6]. Penguraian kerusakan pada bagian silinder hidrolik pada Excavator Hitachi EX 200-LC di PT Alhas Jaya Group menggunakan diagram *fishbone* untuk menentukan penyebab kerusakan sistem hidrolik [7]. Kerusakan di *swing gear reduction* Dosan Excavator DX300-LCA menggunakan diagram *fishbone* untuk menjabarkan tentang faktor yang menyebabkan kerusakan pada gigi *swing reduction* Doosan Excavator DX300LCA. Analisis kerusakan *swing gear reduction* pada unit Doosan Excavator DX300-LCA, hasilnya adalah pelumasan yang buruk di komponen *swing gear reduction*, dengan kesalahan dalam pemilihan oli yang sesuai spesifikasi rekomendasi pabrikan, dan berkurangnya oli *swing gear reduction* yang dikarenakan operator dan mekanik kurang mengawasi *daily check* (pengecekan harian) [8]. Analisis keausan *track roller* dan *carrier roller* pada Komatsu PC 200-8 menggunakan rumus keausan *wear rate* dalam menentukan persentase tingkat keausan [9].

Dari kejadian di komponen *slewing gear,* beberapa kemungkinan kerusakan yang terjadi di komponen

slewing gear antara lain: 1) adanya *backlash*; 2) faktor lingkungan; 3) kelelahan material; dan 4) kurangnya pelumasan.

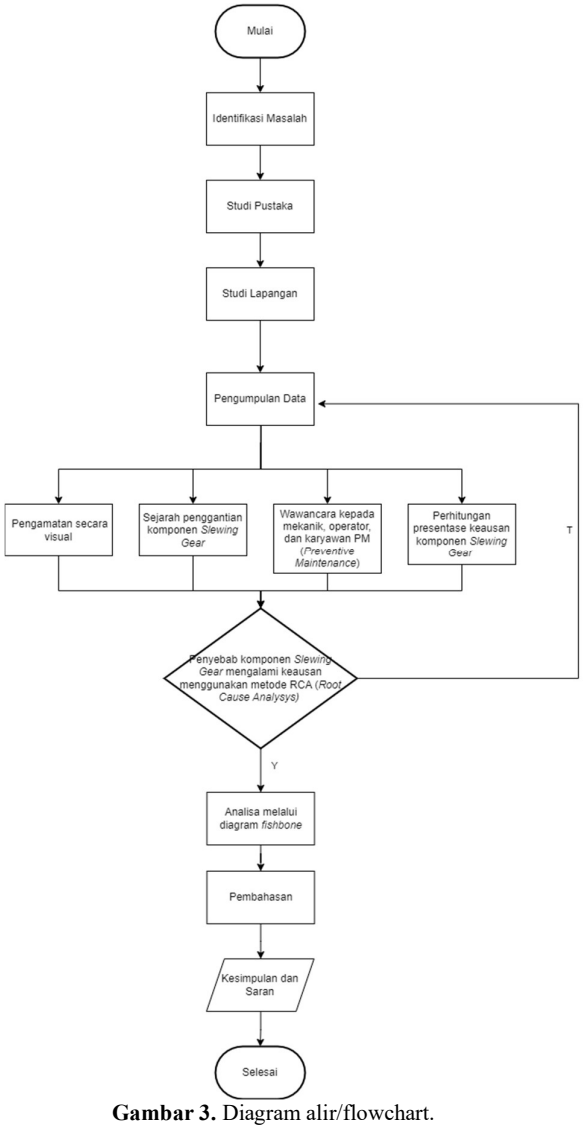
2. Metode

Kajian termasuk ke dalam jenis kajian kuantitatif dengan menggunakan variabel seperti persentase keausan dan melakukan analisis penyebab keausan dari *slewing gear* melaui diagram *fishbone.* Alat yang digunakan untuk pengujian meliputi: 1) *dial indicator;* 2) *filler gauge;* 3) *lead wire;* 4) *slewing gear;* dan 5) *vernier calliper.*

Hasil yang diperoleh dari kajian merupakan hasil terukur dan dapat mengetahui penyebab keausan yang terjadi di *slewing gear* dan persentase keausan untuk mencegah kejadian tersebut terulang kembali serta laju keausan yang terjadi di *slewing gear* [10-12].

Tahap awal yang dilaksanakan yaitu identifikasi kejadian di alat tersebut. Kemudian mencari informasi tentang komponen, serta langsung melihat secara fisik kondisi alat di lapangan. Langkah berikutnya adalah penghimpunan data. Penghimpunan data dilaksanakan dengan 2 metode, yaitu tentang sejarah *slewing gear* dan pengukuran keausan *slewing gear*. Setelah data dikumpulan, kemudian menghitung keausan serta persentase keausan, sehingga dapat mengetahui penyebab masalah dengan menggunakan metode RCA *(Root Cause Analysis)* [13-16]. Langkah berikutnya dijelaskan melalui diagaram *fishbone.* Proses tahapan pelaksanaan dijelaskan melalui diagram alir/*flowchart* di Gambar 3.

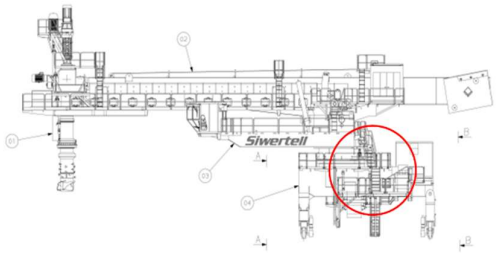
Metode pengambilan data meliputi: 1) studi literatur; 2) visual; 3) wawancara; dan 4) *fishbone diagram.* Studi literatur adalah metode yang dipakai untuk mendapatkan landasan teori dari referensi, penelitian, dan situs daring menjadi bahan pendukung yang berkaitan dengan kajian ini. Visual adalah metode pengambilan data secara cermat langsung pada unit. Wawancara adalah metode pengambilan data kepada mekanik, Departemen PM *(Preventive Maintenance)* terkait unit. *Fishbone diagram* adalah salah satu metode RCA yang digunakan untuk menganalisis kejadian yang abnormal [17].



Gambar 3. Diagram alir/flowchart.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengecekan yang dilakukan pertama pada *slewing gear* adalah *overall run condition* yang ditunjukkan pada Gambar 4. *Overall run condition* mengacu pada keadaan atau kondisi umum dari sistem, peralatan, atau mesin yang sedang berjalan atau beroperasi. Hal ini menilai seberapa baik kinerja dan fungsi sistem secara keseluruhan terutama pada *slewing gear* [18-20]. Gambar 5 – Gambar 8 menunjukkan kondisi *slewing gear* pada Desember 2022.



Gambar 4. Lokasi inspeksi slewing gear.

Gambar 5. Kontak slewing gear pada Desember 2022.

Gambar 6. Slewing gear sektor utara posisi pukul 01:30-04:00 pada Desember 2022.

Gambar 7. Slewing gear sektor selatan keausan teeth bagian atas 1-1,5 mm pada Desember 2022.

Gambar 8. Slewing gear sektor selatan posisi pukul 07:30-10:30 pada Desember 2022.

Pengecekan *gear* yang dilakukan secara langsung bertujuan untuk mengetahui kondisi *gear*. Ketika dilakukan inspeksi pada *gear,* terdapat temuan *gear* yang retak dan telah mulai tajam pada bagian atas (Gambar 9).

Gambar 9. Gear bagian atas yang sudah mulai tajam dan mengalami retak.

Setelah melakukan inspeksi, proses selanjutnya adalah perhitungan persentase keausan *slewing gear*. Perhitungan persentase keausan bertujuan untuk mengetahui berapa persen keausan pada setiap masing-masing *gear* pada *Slewing gear* [21]. Rumus yang digunakan yakni Persamaan 1 sebagai berikut.

$$\boldsymbol{Wr = \frac{Sv - Mw}{Sv}\ x\ 100\%} \quad (1)$$

Keterangan :

Wr = *Wear rate* (%)

Mw = *Measured wear value* (mm)

Sv = *Standart value* (mm)

Data pengambilan *slewing gear* nomor 38 dengan salah satu *gear*-nya memiliki pada *top position* sebesar 10 mm dan *bottom position* sebesar 13 mm. *Gear* baru pada *slewing gear* memiliki panjang sebesar 13,4 mm, maka dengan perhitungan menggunakan Persamaan 1, dihasilkan persentase keausannya adalah *Wr* bagian atas sebesar 25%, sedangkan *Wr* bagian bawah sebesar 3%.

Setelah melakukan inspeksi pada unit *Ship Unloader,* tahap berikutnya adalah *Stop Inspection Predictive Maintenance*.

Stop Inspection Predictive Maintenance adalah cara pendekatan yang menekankan penghentian atau pengurangan inspeksi rutin dan beralih ke perawatan yang berbasis prediksi. Dengan menganalisis data yang dikumpulkan, sistem prediktif dapat mengidentifikasi potensi kegagalan atau masalah yang mungkin terjadi pada *slewing gear*. Menggunakan pendekatan *Stop Inspection Predictive Maintenance*, unit *Ship Unloader* hanya diperiksa atau diperbaiki ketika sistem prediktif mendeteksi adanya anomali atau indikasi potensi kegagalan. Data pada Tabel 1 berikut merupakan hasil pengecekan yang dilakukan oleh karyawan *Preventive Maintenance* dengan nomor unit *Slewing gear* 242-UB1.

Tabel 1. Data stop inspection prediction maintenance.

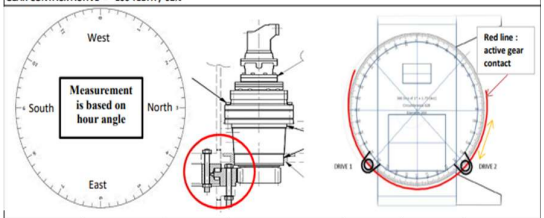
SOLUSI BANGUN INDONESIA — STOP INSPECTION PREDICTIVE MAINTENANCE

MACHINE NUMBER	START OPERATION	INSTALL
242-UB1 SHIPUNLOADER		HANJUNG
MESUREMENT DATE : 24-06-2022		BY : WURYANTO

WEAR MEASURMENT OF SLEWING GEAR SHIP UNLOADER

TOTAL JUMLAH GEAR = 260 TEETH

GEAR CONTACK ACTIVE = 160 TEETH / 62%



Gear position(Hours)	Teeth amount/15°	New teeth	Result (mm)		Wear(mm)		Wear %		Note :
			Top	Bottom	Top	Bot	Top	Bot	
00.00	10	13,4	13,4	13,4	0	0	0%	0%	No contact
00.30	10	13,4	13,4	13,4	0	0	0%	0%	No contact
01.00	11	13,4	13,4	13,4	0	0	0%	0%	No contact
01.30	11	13,4	13,4	13,4	0	0	0%	0%	
02.00	11	13,4	13,4	13,4	0	0	0%	0%	
02.30	11	13,4	13	13,4	0,4	0	3%	0%	
03.00	11	13,4	13	13,4	0,4	0	3%	0%	
03.30	11	13,4	13	13,4	0,4	0	3%	0%	
04.00	11	13,4	13	13,4	0,4	0	3%	0%	
04.30	11	13,4	11,7	13	1,7	0,4	13%	3%	Gear porosity starting at the gear position 04.15-07.00 as many as 60 gear
05.00	11	13,4	11	13	2,4	0,4	18%	3%	
05.30	11	13,4	11,5	13	1,9	0,4	14%	3%	
06.00	11	13,4	10,5	13	2,9	0,4	22%	3%	
06.30	11	13,4	11	13,2	2,4	0,2	18%	1%	
07.00	11	13,4	12,8	13,4	0,6	0	4%	0%	
07.30	11	13,4	12	13,4	1,4	0	10%	0%	
08.00	11	13,4	12,6	13,4	0,8	0	6%	0%	
08.30	11	13,4	12,1	13,4	1,3	0	10%	0%	
09.00	11	13,4	12	13	1,4	0,4	10%	3%	
09.30	11	13,4	12,4	13,4	1	0	7%	0%	
10.00	11	13,4	13	13,4	0,4	0	3%	0%	
10.30	11	13,4	13,4	13,4	0	0	0%	0%	
11.00	10	13,4	13,4	13,4	0	0	0%	0%	No contact
11.30	10	13,4	13,4	13,4	0	0	0%	0%	No contact

Melalui Tabel 1, diperoleh data keausan yang cukup signifikan di area pada pukul 04:30-07:30 yang ditandai dengan batas zona keausan. Batas zona keausan adalah titik di mana suatu benda atau permukaan mengalami keausan yang signifikan akibat gesekan atau penggunaan berulang. Pembagian zona keausan sangatlah penting untuk membedakkan keausan yang signifikan pada *gear*. Berikut pada Tabel 2 dan Tabel 3 adalah titik yang mengalami keausan setelah diambil data dari *slewing gear* yang ditandai berdasarkan warna-warna. Gambar 10 menunjukkan letak posisi atas dan bawah pada *slewing gear.*

Tabel 2. Data zona keausan measurement teeth pada 24 Juni 2022.

Gear position(Hours)	Teeth amount/15°	New teeth	Result (mm)		Wear(mm)		Wear %	
			Top	Bottom	Top	Bot	Top	Bot
00.00	10	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
00.30	10	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
01.00	11	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
01.30	11	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
02.00	11	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
02.30	11	13.4	13	13.4	0.4	0	3%	0%
03.00	11	13.4	13	13.4	0.4	0	3%	0%
03.30	11	13.4	13	13.4	0.4	0	3%	0%
04.00	11	13.4	13	13.4	0.4	0	3%	0%
04.30	11	13.4	11.7	13	1.7	0.4	13%	3%
05.00	11	13.4	11	13	2.4	0.4	18%	3%
05.30	11	13.4	11.5	13	1.9	0.4	14%	3%
06.00	11	13.4	10.5	13	2.9	0.4	22%	3%
06.30	11	13.4	11	13.2	2.4	0.2	18%	1%
07.00	11	13.4	12.8	13.4	0.6	0	4%	0%
07.30	11	13.4	12	13.4	1.4	0	10%	0%
08.00	11	13.4	12.6	13.4	0.8	0	6%	0%
08.30	11	13.4	12.1	13.4	1.3	0	10%	0%
09.00	11	13.4	12	13	1.4	0.4	10%	3%
09.30	11	13.4	12.4	13.4	1	0	7%	0%
10.00	11	13.4	13	13.4	0.4	0	3%	0%
10.30	11	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
11.00	10	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
11.30	10	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%

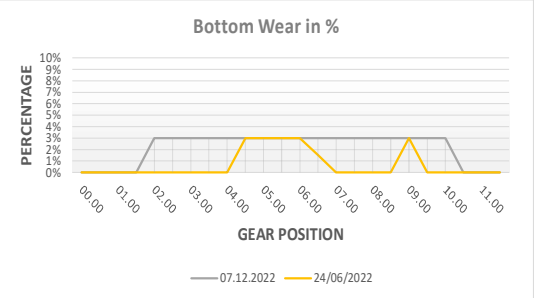
Tabel 3. Data zona keausan measurement teeth pada 07 Desember 2022.

Gear position(Hours)	Teeth amount/15°	New teeth	Result (mm)		Wear(mm)		Wear %	
			Top	Bottom	Top	Bot	Top	Bot
00.00	10	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
00.30	10	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
01.00	11	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
01.30	11	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
02.00	11	13.4	12.1	13	1.3	0.4	10%	3%
02.30	11	13.4	12.1	13	1.3	0.4	10%	3%
03.00	11	13.4	12.1	13	1.3	0.4	10%	3%
03.30	11	13.4	12.1	13	1.3	0.4	10%	3%
04.00	11	13.4	12.1	13	1.3	0.4	10%	3%
04.30	11	13.4	11.2	13	2.2	0.4	16%	3%
05.00	11	13.4	11	13	2.4	0.4	18%	3%
05.30	11	13.4	11	13	2.4	0.4	18%	3%
06.00	11	13.4	10	13	3.4	0.4	25%	3%
06.30	11	13.4	10.5	13	2.9	0.4	22%	3%
07.00	11	13.4	11.3	13	2.1	0.4	16%	3%
07.30	11	13.4	12	13	1.4	0.4	10%	3%
08.00	11	13.4	12	13	1.4	0.4	10%	3%
08.30	11	13.4	12	13	1.4	0.4	10%	3%
09.00	11	13.4	12	13	1.4	0.4	10%	3%
09.30	11	13.4	12	13	1.4	0.4	10%	3%
10.00	11	13.4	12	13	1.4	0.4	10%	3%
10.30	11	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
11.00	10	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%
11.30	10	13.4	13.4	13.4	0	0	0%	0%

Gambar 10. Posisi atas dan bawah pada slewing gear.

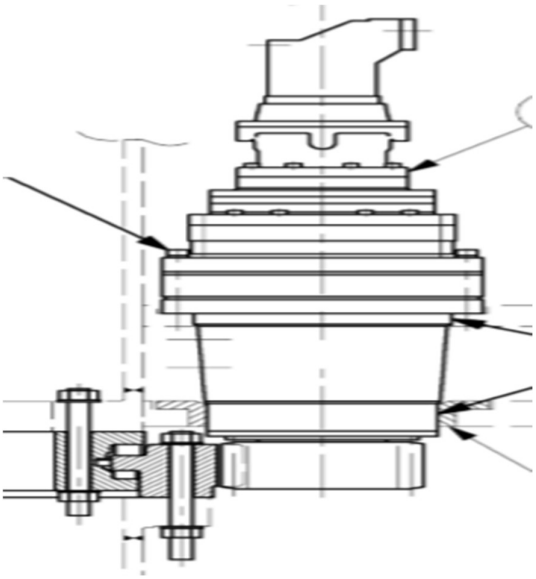
Persentase keausan yang telah dibuat di Tabel 2 dan Tabel 3, diperoleh data pada dua data tersebut menunjukkan bahwa terjadi peningkatan persentase pada pukul 02:00-04:00 dengan kenaikan sebesar 7%. Berikut grafik hasil perbandingan data di Tahun 2022 ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.

Gambar 11. Persentase peningkatan keausan gear pada posisi atas.



Gambar 12. Persentase peningkatan keausan gear pada posisi bawah.

Pengecekan selanjutnya adalah *clearance* dan *backlash* dari kontak *gear pinion* (Gambar 13-Gambar 15). *Clearance* atau jarak bebas dapat diartikan sebagai jarak atau celah yang diperlukan antara roda gigi dan *pinion* pada suatu mekanisme transmisi gigi. Jarak ini penting untuk memastikan bahwa roda gigi dan *pinion* dapat bergerak dengan bebas tanpa terjadi gesekan yang berlebihan atau interferensi yang dapat merusak komponen tersebut.



Gambar 13. Pengukuran backlash pada kontak slewing gear dan pinion gear.

Gambar 14. Pengecekan backlash pada pinion gearbox slewing barat.

Gambar 15. Pengecekan backlash pada pinion gearbox slewing timur.

Gambar 14 dan 15 membuktikan bahwa *slewing gear* mengalami *backlash* secara tidak normal. Ketika terdapat temuan *backlash* yang terjadi di *slewing gear*, langkah selanjutnya adalah mengukur *backlash* dan *clearance* tersebut menggunakan *feeler gauge* dan *dial gauge*. Berikut adalah hasil pengukuran *clearance* dan *backlash* kontak *pinion* ke *ring gear* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran clearance dan backlash pinion ke ring gear.

Pinion drive	***Teeth position (hours)***	***Clearance* (mm)**	***Backlash* (mm)**
1	10:30	1,25	1,70
	9:30	1,35	0
	5:30	1,40	0
2	7:30	1,60	2,00
	6:30	1,75	0
	2:30	1,45	0

Dari data di atas, ditemukan beberapa *clearance* yang jauh dari standar, yaitu sekitar 0,98-1,2 mm. Apabila *clearance* tidak memenuhi standar, maka unit mengalami keausan dan spesifikasi tidak terpenuhi.

Selain itu, *backlash* juga mempengaruhi keausan pada komponen. Akibat dari *backlash* yang terlalu besar mengakibatkan ketidakakuratan dalam menentukan posisi atau perpindahan suatu mekanisme. Selain itu, *backlash* yang besar menyebabkan keausan yang lebih cepat. Data menunjukkan bahwa kontak *pinion* dengan *ring gear* sudah mencapai 1,7 dan 2,0 pada *pinion drive.* Spesifikasi *backlash* yang aman adalah *gap* sebesar 0,45-0,65 mm. Hal tersebut sudah melebihi batas aman *backlash*, jika unit tersebut terus dioperasikan, maka semakin cepat laju keausannya. Kerusakan pada *slewing gear* kemungkinan besar diakibatkan oleh *backlash* yang terlalu besar, sehingga *gear* cepat mengalami keausan.

Perhitungan laju keausan diperlukan untuk menghitung seberapa cepat *gear* mengalami keausan kontak antara *pinion gear* dan *slewing gear.* Perhitungan laju keausan pada *slewing gear* melibatkan faktor-faktor seperti gaya beban, kecepatan rotasi, dan karakteristik geometri gigi. Rumus laju keausan yang digunakan adalah rumus Hukum Archard, dengan diketahui jenis keausan abrasif dan nilai spesifik abrasif (*WS*). Rumus spesifik abrasif adalah Persamaan 2 sebagai berikut.

$$\boldsymbol{WS} = \frac{\boldsymbol{B.bo^3}}{\boldsymbol{8.r.Po.lo}} \quad (2)$$

Keterangan :

WS = Nilai spesifik keausan (mm^2/kg)

bo = Luas area terabrasi (mm)

B = Tebal *disk* (mm)

r = Jari-jari *disk* (mm)

lo = *Abration distance* (m)

Po = Nilai pembebanan (kg)

Dengan pengamatan secara langsung pada unit, diketahui untuk tebal *disk* dari *Slewing gear* adalah 100 mm dan jari-jari *disk* sebesar 3.600 mm. Bentuk area terabrasi untuk bagian atas dengan rata-rata 1,78 mm dan bagian bawah sebesar 0,4 mm. *Abration distance* mengambil dari data keausan *measurement teeth* pada 7 Desember 2022.

Hasil dari nilai spesifik keausan, dihasilkan WS bagian atas sebesar $1{,}71 \times 10^{-4}$ mm^2/kg, sedangkan WS bagian bawah sebesar $8{,}65 \times 10^{-6}$ mm^2/kg.

Setelah data nilai spesifik keausan didapat, maka perhitungan laju keausan dengan Hukum Archard dengan Persamaan 3 berikut.

$$\boldsymbol{V = WS \times F \times s} \quad (3)$$

Keterangan :

V = Volume material yang hilang ($mm^3/working\ hour$)

WS = Koefisien keausan

F = Gaya reaksi pada komponen

S = Jarak saat komponen bergesekan (*sliding distance)*

Diketahui kecepatan *slewing gear* sebesar 0-0,2 rpm, sehingga satuan rpm diubah menjadi kecepatan (m/s) dengan Persamaan 4 berikut. Jarak saat komponen bergesekan menggunakan data pada Tabel 4 untuk diambil data yang membuat *backlash* dari *slewing gear*. Berdasarkan Persamaan 4, didapatkan kecepatan *slewing gear* sebesar 0,038 m/s.

$$\boldsymbol{v} = \frac{\boldsymbol{n \times 2\pi r}}{\boldsymbol{60}} \quad (4)$$

Keterangan :

v = Kecepatan (m/s)

n = Putaran (rpm)

r = Jari-jari *slewing gear* (m)

Setelah menemukan kecepatan, langkah selanjutnya adalah mencari berapa percepatan dari *slewing gear* dengan Persamaan 5 berikut. Berdasarkan Persamaan 5, dihasilkan percepatan slewing gear sebesar $6{,}29 \times 10^{-4}$ m/s^2.

$$\boldsymbol{a} = \frac{\boldsymbol{\Delta v2 - \Delta v1}}{\boldsymbol{\Delta t2 - \Delta t1}} \quad (5)$$

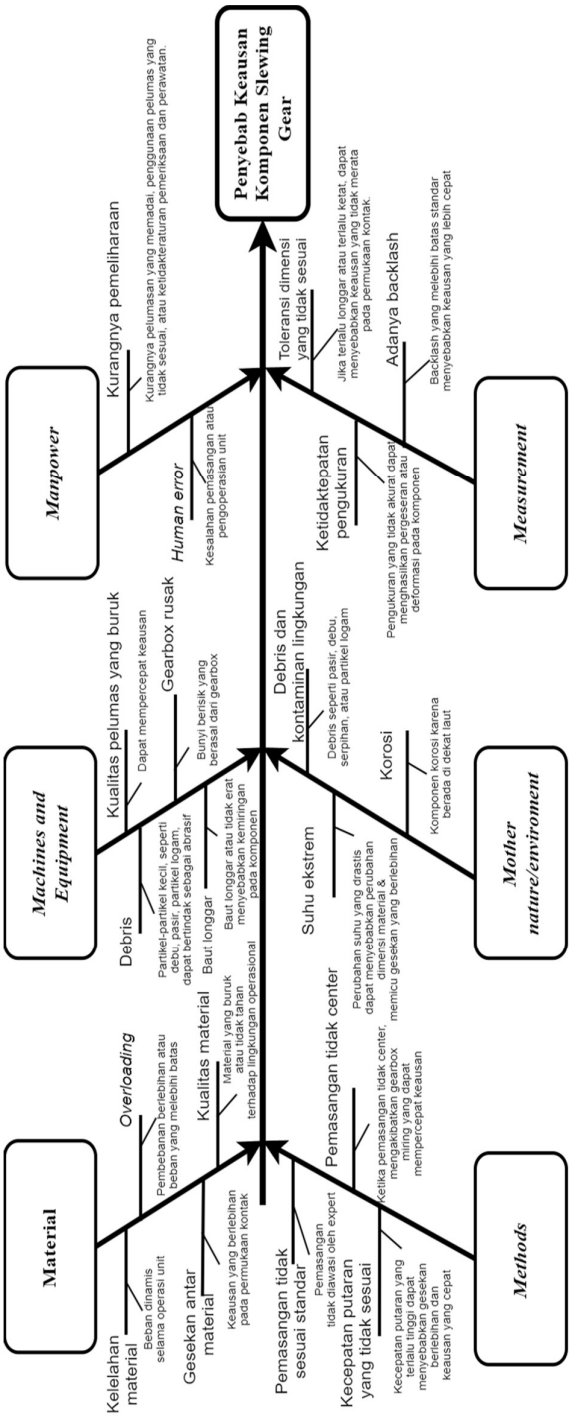
Berdasarkan data kecepatan dan percepatan yang telah didapatkan sebelumnya, maka dapat dihitung volume material yang hilang (*V*) pada *pinion* atas 1 sebesar $17{,}27 \times 10^{-3}$ mm^3/*working hour*, sedangkan V pada *pinion* atas 2 sebesar $1{,}12 \times 10^{-3}$ mm^3/*working hour*.

Langkah pemeriksaan berikutnya adalah analisis material *slewing gear* dan *pinion gear*. Berdasarkan analisis, bahan atau material dari *slewing gear* yaitu *stainless steel* karena memiliki ketahanan terhadap korosi, kekuatan yang tinggi, dan ketahanan terhadap suhu yang ekstrem, serta *stainless steel* memiliki permukaan yang halus dan mudah dibersihkan. *Pinion gear* di *Ship Unloader* terbuat dari baja paduan karena dapat menahan beban tinggi serta kondisi kerja yang keras. Dalam kondisi bergesekan antara *stainless steel* dan baja paduan, tidak dapat secara pasti dikatakan siapa yang akan kalah dalam jangka waktu lama. Faktor-faktor seperti kekuatan dan sifat-sifat mekanis bahan, kondisi gesekan, pelumasan, dan desain komponen akan mempengaruhi tingkat keausan dan performa keseluruhan.

Secara umum, baja paduan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dan ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan dengan *stainless steel*. Namun, *stainless steel* memiliki sifat ketahanan korosi yang baik dan sering digunakan dalam aplikasi di lingkungan yang membutuhkan perlindungan terhadap korosi.

Analisis selanjutnya yaitu menggunakan diagram *fishbone*. Analisis diagram *fishbone* dilakukan berdasarkan data-data yang telah diambil di *slewing gear*. Analisis menggunakan diagram *fishbone* ini

untuk membuktikan bahwa banyak faktor yang mengakibatkan *slewing gear* mengalami keausan, mulai dari material, *methods, machines and equipment, man power, mother nature/environment,* dan *measurement.*



Gambar 16. Diagram fishbone penyebab keausan pada slewing gear.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data-data yang telah dikumpulkan dan dilakukan kajian, maka diperoleh simpulan bahwa tingkat persentase dari keausan *slewing gear* sudah masuk ke dalam zona merah yakni sebesar 25%. Terdapat enam jenis identifikasi penyebab keausan pada *slewing gear* yaitu *machine* (mesin), *man power* (manusia), *methods* (metode), *mother environment*, dan material. Penyebab keausan yang terjadi pada *slewing gear* di *Ship Unloader Type* ST-940-D karena adanya *backlash* dengan angka 1,7 dan 2,0 mm (standar *gap* sebesar 0,45-0,65 mm). Selain itu, nilai *clearance* juga melebihi dari standar hingga 1,75 mm (standar 0,98-1,2 mm). *Slewing gear* sudah mengalami keausan sejak Tahun 2022. Solusi yang diambil di *Preventive Maintenance Department* sementara adalah peningkatan intensitas pengecekan rutin setiap bulan untuk memantau kelajuan dari *slewing gear.*

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilaksanakan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk pencegahan dan mengurangi keausan dari *slewing gear*. Penggantian *slewing gear*, *gearbox,* dan *nut* yang baru, agar tidak terjadi keausan. *Gear* bagian atas yang telah tajam akan dilakukan *grinding* secara horizontal untuk meratakannya. Selain itu, *gear* akan dilakukan laminasi untuk pelapisan *gear.* Pemantauan kondisi komponen teknologi seperti sensor suhu, sensor getaran, atau sistem pemantauan daring lainnya untuk mengawasi kinerja *slewing gear*. Pemantauan kondisi secara teratur untuk mendeteksi masalah potensial lebih awal dan mengambil tindakan pencegahan yang diperlukan. Pengurangan beban yang melebihi batas maksimum, ditentukan oleh produsen. Beban berlebih dapat menyebabkan keausan yang cepat pada *slewing gear.*

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada pihak yang telah memberi dukungan dalam kajian, baik berupa sarana maupun dana terhadap kajian yang telah dilakukan antara lain: 1) Bapak Dr.-Ing. Ir. Agus Maryono selaku Dekan Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada; 2) Bapak Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T. sebagai Ketua Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada; 3) Bapak Sugiyanto, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi D4 Teknik Pengelolaan dan Perawatan Alat Berat, Universitas Gadjah Mada; 4) Bapak Stephanus Danny Kurniawan, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing dari kajian ini; 5) Bapak Budi Basuki, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik; 6) Bapak Eko Basuki sebagai Supervisor *Preventive Maintenance Department*; 7) Bapak Wuryanto sebagai pembimbing lapangan PT SBI, Divisi Departemen *Preventive Maintenance* di area unit *Ship Unloader*; 8) Seluruh karyawan PT SBI (Solusi Bangun Indonesia), Divisi Departemen *Preventive Maintenance* yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan pengalaman di lapangan; 9) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan 10) Diri saya sendiri yang telah berjuang untuk kajian ini.

Daftar Pustaka

[1] P.J. Blau, 2023, *Fifty years of research on the wear of metals. Tribology International, 30(5), 321–331.* https://doi.org/10.1016/S0301679X(96)00062-X, diakses 20 Mei 2023.

[2] P. Carlsson, 2023, *Surface Engineering in Sheet Metal Farming.* https://www.researchgate.net/publication/29753521_Surface_Engineering_in_Sheet_Metal_Forming, diakses 05 Mei 2023.

[3] G. G. Jing. 2008, "Digging for the Root Cause." *ASQ Six Sigma Forum Magazine,* Vol. 13, 19-24.

[4] T. A. Prabowo, G. D. Haryadi, A. Suprihanto. 2022, "Analisis Reliability Komponen Kritis Hydraulic Axial Pump 2000 Lps." *Jurnal Teknik Mesin Indonesia,* Vol. 10, 173-182.

[5] T. A. Wibowo, R. G. Sudarmawan, H. M. Ridlwan. 2021, Studi Kasus Cylinder Pneumatic Avdul-32-60-P-A pada Perusahaan Rolling Bearing. *Peranan Pendidikan Tinggi Vokasi dalam Inovasi dan Penerapan Smart and Sustainable Technology*, Jakarta, 30 Agustus, 1206–1215.

[6] M. Amri, H. Darsan. 2022, "Analisa Kerusakan Pada Lori Pengangkut Tbs Di Pt . Karya Tanah Subur." *Jurnal Teknik Mesin Indonesia,* Vol. 8(2), 35–39.

[7] A. Zarkasyi, Sariyusda, Jufriadi, Hamdani. 2019, "Analisa Kerusakan Silinder Hidrolik Pada Excavator Hitachi Ex 200 Lc Dengan Metode Fishbone Di Pt . Alhas Jaya Group." *Jurnal Mesin Sains Terapan*, Vol. 3(1), 1–4.

[8] H. J. Sayuti. 2018, Analisa Kerusakan Swing Gear Reduction Doosan Excavator DX-300LCA, *Skripsi Teknik Mesin,* UMS, Surakarta.

[9] N. Yugisworo, M. Dzulfikar. 2021, "Analisis Keausan Track Roller dan Carrier Roller Excavator Komatsu PC-200-8." *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim*, Vol. 1(1), 115–121.

[10] J. Corcoran, A. N. Casebolt. 2004, "Risk and Resilience Ecological Framework for Assessment and Goal Formulation." *Child and Adolescent Social Work Journal*, Vol. 21(3), 211-235.

[11] S. Hadi, A. A. Azis, V. Viyus, E. Puspitasari, A. H. Firdaus, A. Setiawan. 2021, "Planning for Maintenance and Repair of Continuous Ship Unloader Using the IRRO Method." *Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, Vol. 21(1), 52–63.

[12] F. W. Lindvall. 2007, Development of a test method for measuring galling resistance. *Master thesis,* Karlstads universite, Karlstads.

[13] E. K. Ningsih, Y. Kaelani. 2016, "Studi Eksperimen dan Analisa Keausan Journal Bearing Dry Contact Pada Rotary Valve Mesin Pembuat Pasta." *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 5(1), 58–64.

[14] M. Ramadhani, A. Fariza, D.K. Basuki. 2007, "Sistem Pendukung Keputusan Identifikasi Penyebab Susut Distribusi Energi Listrik Menggunakan Metode FMEA." *Jurnal,* Vol. 4, 1-7.

[15] Ryan, Cooper, Tauer. 2013, "Paper Knowledge." *Toward a Media History of Documents*, Vol. 1(1), 12–26.

[16] I. Syafa'at. 2008, "Tribologi, Daerah Pelumasan Dan Keausan." *Jurnal Momentum UNWAHAS*, Vol. 4(2), 21–26.

[17] V. R. Dwi. 2021, Analisa Kekuatan Wirerope Ship Unloader Di Pltu Pulang Pisau, *Skripsi Teknik Mesin,* Universitas Islam Kalimantan, Banjarmasin.

[18] K. R. Widodo. 2022, "Analisis Keausan Shaft Pada Front Idler Excavator (Backhoe) Hitachi Tipe Ex-100." *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur*, Vol. 7(1), 56–66.

[19] J. Xiao, Y. Wu, W. Long, C. Xu. 2022, "Failure Analysis of Gantry Crane Slewing Bearing Based on Gear Position Accuracy Error." *Applied Sciences (Switzerland)*, Vol. 12(23), 1-18.

[20] M. A. Basyith, J. Triyono, E. Surojo. 2020, "Analisis laju korosi dan keausan spesifik pada artificial hip joint Cr coated SS304." *Jurnal Teknik Mesin Indonesia,* Vol. 15, 39-42.

[21] E. W. Saputra, H. S. Nugroho. 2022, "Variabel-variabel dan efeknya dalam kalkulasi tingkat keausan ban yang didasarkan atas model matematis." *Jurnal Teknik Mesin Indonesia,* Vol. 17(2), 42-50.