

## Mitigasi Resiko Kerusakan Pada *Engine Underground LHD* Berdasarkan Metode *Oil Analysis* Di Tambang Bawah Tanah *Grasberg Block Caving (GBC)* PT. *Freeport Indonesia*

Micere Cordias Domini Rumbino<sup>1</sup>, Yohanes Agus Jayatun<sup>2,\*</sup>, Sutrisna<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional  
Yogyakarta

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

\*Corresponding author: \*[jayatun@itny.ac.id](mailto:jayatun@itny.ac.id)

### Abstract

*Underground LHD is a unit used in underground mines at PT. Freeport Indonesia, in this unit, has the most important component, namely the engine to produce power. Damage that occurs to the engine can occur in several components such as Oil Filter, Valve Train, Air Cleaner, Oil Cooler, Oil Pump, Thrust Washers, Cylinder Liner, Transfer Pump, and Air Filter arising from contamination from outside or from inside the engine compartment itself and various other factors such as pressure applied or impact from outside. The purpose of this mitigation is to reduce the risk of failure in underground LHD engines so that maintenance measures are taken. The method used to reduce the risk of damage is the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method. As mitigation measures are given, it will show that components with high RPN can be lowered. Mitigation actions and maintenance proposals provided include intervals between time intervals for condition monitoring and oil sampling for analysis with oil analysis equipment, in order to achieve the objectives of proactive maintenance and condition monitoring and classify indications of damage or causes of damage based on the results of caterpillar LHD underground engine oil samples R1700K. So that failures that can occur repeatedly during production operations on underground LHD can be prevented earlier.*

**Keywords:** *Underground LHD, Engine, FMEA, Mitigasi*

### Abstrak

*Underground LHD merupakan sebuah unit yang digunakan pada tambang bawah tanah pada perusahaan PT. Freeport Indonesia, pada unit tersebut memiliki komponen terpenting yaitu engine untuk menghasilkan tenaga. Kerusakan yang terjadi pada engine dapat terjadi pada beberapa komponen seperti Oil Filter, Valve Train, Air Cleaner, Oil Cooler, Oil Pump, Thrust Washers, Liner Silinder, Transfer Pump, Air Filter yang timbul akibat adanya kontaminasi dari luar ataupun dari dalam kompartemen mesin itu sendiri serta berbagai faktor lainnya seperti tekanan yang diberikan atau benturan dari luar. Tujuan pada mitigasi ini untuk menurunkan angka resiko kegagalan pada engine underground LHD sehingga didapatkan tindakan-tindakan perawatan yang dilakukan. Metode yang digunakan untuk menurunkan angka resiko kerusakan yaitu metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Sebagaimana tindakan mitigasi yang diberikan maka akan menunjukkan bahwa komponen dengan RPN tinggi dapat diturunkan. Tindakan mitigasi serta usulan perawatan yang diberikan meliputi interval jarak waktu pemantauan kondisi serta pengambilan sampel oli guna dilakukan analisis dengan peralatan oil analysis, guna tercapainya tujuan proactive maintenance dan condition monitoring serta dapat mengklasifikasikan indikasi kerusakan atau penyebab kerusakan berdasarkan hasil sampel oli engine underground LHD jenis caterpillar R1700K. sehingga kegagalan yang dapat terjadi secara berulang pada saat operasional produksi pada underground LHD dapat dicegah lebih awal.*

**Kata kunci:** *Underground LHD, Engine, FMEA, Mitigasi.*

## PENDAHULUAN

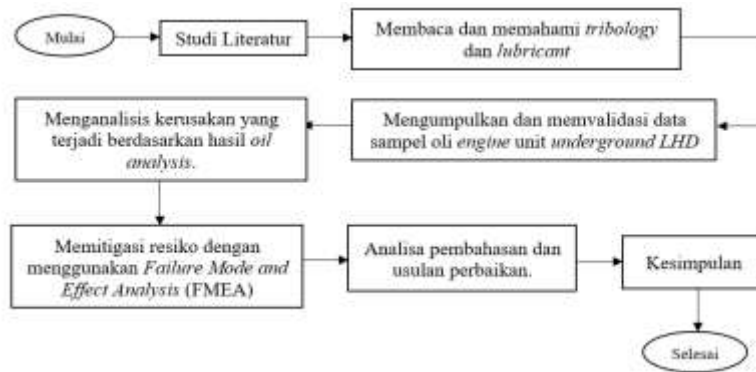
Berdasarkan buku standar BS-EN-13306, 2010 Hal 5 dengan judul *Maintenance – Maintenance terminology*. *Maintenance* adalah kombinasi dari semua tindakan teknis, administrasi, dan managerial selama siklus hidup suatu item yang dimaksudkan untuk mempertahankan fungsi pakai, atau mengembalikannya ke keadaan dimana ia dapat melakukan fungsi yang diperlukan [1]. Berdasarkan buku BS-EN-13306, 2010 Hal 14 dengan judul *Maintenance – Maintenance terminology*. Dalam mencapai tujuan maintenance tersebut, terdapat beberapa strategi atau metode yang dapat diimplementasikan salah satunya adalah dengan penerapan condition monitoring yaitu aktivitas, baik yang dilakukan secara manual atau otomatis, yang dimaksudkan untuk mengukur pada jarak yang telah ditentukan pada karakteristik dan parameter dalam keadaan aktual suatu peralatan [2].

Berdasarkan buku standar internasional *Condition monitoring and diagnostics of machine systems – Tribology-based monitoring and diagnostics – Part 1: General requirements and guidelines* Pada aktivitas *condition monitoring* sendiri terdapat beberapa metode atau basis dalam pengaplikasiannya, salah satunya adalah *tribology* dan *lubricant-based monitoring*, yaitu multi bidang yang terdiri dari kegiatan pemantauan, pelaporan dan menanggapi informasi yang diperoleh dari analisis minyak pelumas, cairan hidrolik dan gemuk. Istilah umum yang digunakan untuk menjelaskan praktik ini adalah "analisa oli", "pelumas", dan "sisa keausan"[3].

Pada kegiatan operasional produksi tambang bawah tanah *Grasberg Block Caving* di PT. Freeport Indonesia, menggunakan alat berat yang disebut *Underground LHD (Load Haul Dumper)* dengan jenis *Caterpillar R1700K* yang dirancang untuk memuat dan mengangkut material runtunan pada tingkat *extraction*. Dimana kondisi operasional pertambangan bawah tanah terutama pada level *extraction* memiliki keterbatasan kondisi operasional seperti keterbatasan mobilitas, kualitas udara, dan tingkat kebersihan udara [4]. Dengan kondisi operasional tersebut, tidak sedikit berdampak pada kondisi operasional alat berat terutama terhadap komponen motor bakar. Sebagai peralatan operasional produksi, *underground LHD* diberikan perlakuan *tribology* dan *lubricant-based monitoring* guna mempertahankan fungsi dan mencapai siklus hidup peralatan tersebut. Metode *condition monitoring* yang telah dilakukan selama ini perlu ditinjau mengenai indikasi atau gejala yang sering muncul yang berakibat pada kerusakan peralatan tersebut [5]. Sehingga pada tugas akhir ini akan membahas mengenai mitigasi resiko kerusakan pada *engine Underground LHD* jenis *Caterpillar R1700K*.

## METODE PENELITIAN

Tindakan mitigasi dilakukan secara bertahap dengan merancang *Failure Mode and Effect Analysis* untuk menurunkan angka resiko *Occurance* dan *Detection* sesuai dengan prosedur yang ditunjukkan pada diagram alir berikut.



**Gambar 1.** Diagram Alir Mitigasi

**Obyek Mitigasi.** Pada obyek mitigasi yang dilakukan peneliti tertuju pada unit *underground LHD* dengan jenis *Caterpillar R1700K* dan secara tertuju akan berpusat pada kondisi oli *engine* yang digunakan untuk mengetahui adanya indikasi terjadinya kerusakan pada beberapa tahun *engine* tersebut dioperasikan dan menganalisa factor penyebab kerusakan dengan menggunakan metode *oil analysis* [6].

**Metode Mitigasi.** Pada mitigasi ini diterapkan 4 metode dalam memitigasi pada *engine underground LHD* yaitu sebagai berikut:

1. Metode literatur, yaitu dengan mengumpulkan bermacam-macam data dan referensi pendukung lainnya.
2. Metode historis, yaitu dengan mengumpulkan data berdasarkan informasi atau data yang sudah dibuat dan didokumentasikan.
3. Metode analisa, yaitu mengumpulkan dan menyusun semua data-data yang didapatkan dari penerapan dan pelaksanaan literatur dan observasi.
4. Metode *oil analysis*, yaitu aktivitas penelitian yang dilakukan untuk mengetahui kondisi pelumasam yang mempresentasikan kondisi mesin.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penetapan Komponen

Sebagaimana pada tahap mitigasi dengan menerapkan metode *oil analysis* dan mengetahui adanya indikasi kerusakan yang terjadi secara berulang-ulang pada pengoperasian unit *Underground LHD* yang berfokus pada oli pelumasam *engine* [7]. Komponen utama yang dilakukan tinda Berikut dibawah ini merupakan table *failure effect* yang digunakan untuk menentukan kejadian kerusakan pada komponen yang terjadi secara berulang-ulang [8-11].

**Tabel 1.** *Failure Effect*

No.	Component	Failure	Failure Effect	Angka Resiko Severity
1.	Oil Filter	Terjadi penyumbatan oleh kotoran.	Aliran oli tersumbat sehingga kinerja pelumasan menurun.	7
2.	Valve Train	Terjadi keausan.	Efisiensi pelumasan menurun.	7
3.	Air Cleaner	Terjadi keausan.	Penurunan efektivitas pelumasan sehingga terjadi perubahan kinerja mesin	7
4.	Oil Cooler	Kebocoran.	Cairan pendingin tercampur dengan minyak pelumasan.	6
5.	Oil Pump	Kebocoran pompa.	Tidak mampu mentransferkan oli pelumasan ke seluruh komponen mesin.	6
6.	Thrust Washers	Keausan pada permukaan.	Gagal menahan beban axial sehingga menurunnya performa mesin.	7
7.	Liner Silinder	Terjadi keausan abnormal.	Performa mesin menjadi menurun.	7
8.	Transfer Pump	Kebocoran pompa.	Terjadi perubahan fisik pada oli.	7
9.	Air Filter	Tersumbat oleh kotoran	Pembakaran yang tidak sempurna.	7

Hasil dari Tabel 1, Menunjukkan dari 9 komponen memiliki peringkat angka resiko *severity* mulai dari 6 sampai dengan 7, maka dari itu pada 9 komponen yang diidentifikasi ini akan dilakukan analisa efek dan mode kegagalan menggunakan FMEA Sheet.

**Tabel 2. Severity**

Predikat	Tingkat keparahan akibat kerusakan dan Contoh	5
EKSTREM	Membahayakan mesin dan orang di sekitar, tanpa didahului peringatan. Contoh : gempa bumi, ban meletus, tangki bertekanan yang tidak dilengkapi katup pengaman dan alat ukur tekanan, dll.	10
	Membahayakan mesin dan orang di sekitar, dengan didahului peringatan. Contoh : tsunami, patah karena perambatan retak, tangka bertekanan yang dilengkapi instrumen pengaman meledak, dll	9
HIGH	Gangguan berat pada mesin, mesin tidak dapat dioperasikan Contoh : Rantai sepeda putus, busi sepeda motor mati, sambungan kabel pada motor listrik lepas, pipa suction pompa bocor, dll	8
	Mesin masih dapat dioperasikan tetapi bila tetap dioperasikan maka dalam waktu dekat mesin akan mengalami gangguan berat. Contoh : Busi mobil mati satu, bearing aus, sambungan poros tidak lurus, kampas rem sedikit aus, dll	7
MODERATE	Mesin mengalami gangguan sedang, dan perbaikan hanya dapat dilakukan ketika mesin tidak dioperasikan (shutdown) Contoh : Seal pada poros pompa bocor, tekanan ban kurang, perapat (perpak) retak/sobek, rantai kendur, dll.	6
	Mesin mengalami gangguan ringan, namun perbaikan hanya dapat dilakukan ketika shutdown. Contoh : Komponen transmisi aus (rantai, gir, dsb), perapat rembes (bocor sedikit), dll	5
	Mesin mengalami gangguan ringan, namun dapat diperbaiki tanpa harus shutdown. Contoh : baut pondasi mesin kendur, baut flens kendur, dsb.	4
LOW	Menurunkan kinerja alat bantu, tidak mempengaruhi kinerja mesin namun untuk memperbaikinya harus shutdown Contoh : klakson mati, lampu mati, dsb	3
	Menurunkan kinerja alat bantu, dan dapat segera diperbaiki tanpa harus shutdown Contoh : stelan kaca spion tidak pas, dsb	2
NONE	Kerusakan tidak berpengaruh sama sekali Contoh : Cat kusam, mesin berdebu, dsb.	1

### FMEA Sheet

*FMEA Sheet* atau lembar FMEA merupakan lembaran halaman yang digunakan untuk mengidentifikasi berdasarkan pengklasifikasian adanya potensi terjadi kegagalan dan mempengaruhi beberapa komponen dalam hal ini dimaksudkan adalah jalur yang dialiri dengan minyak pelumasan atau oli [12-13]. dalam hal ini untuk menghitung nilai *Risk Priority Number*

(RPN) sehingga setiap mode kegagalan dengan perkalian S, O, dan D untuk mendapatkan nilai RPN dimana semakin tinggi nilai RPN semakin tinggi juga resiko terjadinya kegagalan [14-16]. Maka, *FMEA Sheet* juga digunakan untuk membantu menurunkan dan memberikan usulan agar mengurangi angka resiko kegagalan. Berikut dibawah ini merupakan Tabel *FMEA Sheet* pada komponen yang teridentifikasi pada *engine underground LHD* dengan hasil *oil analysis* [17].

**Tabel 3. FMEA Sheet Underground LHD**

Item	Part	Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)								Target Nilai			RPN	S	O	D	RPN	Mitigasi				
		Type	Subgroup	Failure	Effect	S	O	Detection	D	RPN	S	O							D	RPN		
1	Oil Filter	Terdapat partikel atau tidak terpasang	Adanya oli berlebih di saluran karena partikel-partikel tersebut. - Mekanisme oli dapat terganggu sehingga oli yang digunakan untuk oli akan rusak.	7	Penurunan daya atau oli yang berlebih yang terjadi dalam waktu lama. - Partikel tidak terhalang dengan baik.	7	Perbaikan berdasarkan pada oli. - Tidak terhalang oleh partikel yang masuk ke dalam mesin.	10	400	7	7	280	280	Mitigasi Kejuruan: - Memeriksa oli Filter - Ganti Filter - Pengujian oli secara berkala - Affixing of Mitigasi Dwikor: - Penetapan standar oli oli dalam workshop - Tegapan pemeliharaan preventive maintenance dan perbaikan - Operasi Visumeter untuk mengetahui kondisi pemeliharaan di lapangan - Standar Visumeter untuk mengetahui pemeliharaan di lapangan	7	7	280	Mitigasi Kejuruan: - Memeriksa oli Filter - Lakukan pengujian oli Mitigasi Dwikor: - Penetapan standar oli oli dalam workshop - Tegapan pemeliharaan preventive maintenance dan perbaikan - Operasi Visumeter untuk mengetahui pemeliharaan di lapangan				
																			4	4	160	160
2	Rafle Turin	Terdapat oli	Mekanisme oli dapat terganggu sehingga oli yang digunakan untuk oli akan rusak.	7	Penurunan daya atau oli yang berlebih yang terjadi dalam waktu lama. - Partikel tidak terhalang dengan baik.	7	Perbaikan berdasarkan pada oli. - Tidak terhalang oleh partikel yang masuk ke dalam mesin.	10	400	7	7	280	280	Mitigasi Kejuruan: - Memeriksa oli Filter - Ganti Filter - Pengujian oli secara berkala - Affixing of Mitigasi Dwikor: - Penetapan standar oli oli dalam workshop - Tegapan pemeliharaan preventive maintenance dan perbaikan - Operasi Visumeter untuk mengetahui pemeliharaan di lapangan	7	7	280	Mitigasi Kejuruan: - Memeriksa oli Filter - Lakukan pengujian oli Mitigasi Dwikor: - Penetapan standar oli oli dalam workshop - Tegapan pemeliharaan preventive maintenance dan perbaikan - Operasi Visumeter untuk mengetahui pemeliharaan di lapangan				
																			4	4	160	160
																			4	3	120	120
3	Oil Chamber	Terdapat oli	Adanya oli berlebih yang masuk ke dalam mesin.	7	Penurunan daya atau oli yang berlebih yang terjadi dalam waktu lama. - Partikel tidak terhalang dengan baik.	7	Perbaikan berdasarkan pada oli. - Tidak terhalang oleh partikel yang masuk ke dalam mesin.	10	400	7	7	280	280	Mitigasi Kejuruan: - Memeriksa oli Filter - Ganti Filter - Pengujian oli secara berkala - Affixing of Mitigasi Dwikor: - Penetapan standar oli oli dalam workshop - Tegapan pemeliharaan preventive maintenance dan perbaikan - Operasi Visumeter untuk mengetahui pemeliharaan di lapangan	7	7	280	Mitigasi Kejuruan: - Memeriksa oli Filter - Lakukan pengujian oli Mitigasi Dwikor: - Penetapan standar oli oli dalam workshop - Tegapan pemeliharaan preventive maintenance dan perbaikan - Operasi Visumeter untuk mengetahui pemeliharaan di lapangan				
																			4	3	120	120

**Tabel 4. FMEA Sheet Underground LHD (Lanjutan)**

Item	Ejemplar	Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)								Target Nilai			RPN	D	2021/2022
		Failure	Effect	S	Cause	O	Detection	D	RPN	S	O	D			
Type	Development LHD											Page			2 of 6
No.	Item	Failure	Effect	S	Cause	O	Detection	D	RPN	S	O	D	RPN	Mitigasi Action	
4.	Oil Cooler	Efisiensi	Cairan pendingin temperatur tinggi menjadi polutan air sehingga memunculkan karat dan korosi oli pelumas. - Hasil pengujian pengujian redang dan perbandingan hasil dilakukan ketika mesin tidak dipanaskan (standby)	4	Kerusakan mesin akibat pendinginan oli cooler sehingga cairan oli cooler temperatur tinggi oli mesin. - Tetap terjadi kegagalan walaupun proses terbelah dengan baik	4	Pada kondisi pada oli pelumas menjadi panas. - Tidak terjadi inspeksi yang mampu mendeteksi korosi/karat/kelelahan/kelelahan	10	360	4	2	4	72	<p>Mitigasi Kaji Ulang</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pastikan penggunaan air pendingin yang digunakan bersih</li> <li>- Lakukan pemeliharaan mesin pada air pendingin</li> <li>- Pastikan oli cooler terpanas dengan baik</li> <li>- Ganti koefisien yang menggunakan bahan berkualitas</li> </ul> <p>Mitigasi Deteksi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lakukan pemeliharaan mesin secara berkala</li> <li>- Perhatikan suhu mesin yang tidak normal</li> <li>- Terjadinya pemunculan karat yang tidak wajar</li> <li>- Lakukan inspeksi pengujian oli untuk mendeteksi jika menggunakan bahan oli</li> </ul>	
					Kerusakan mesin akibat oli yang tidak terdistribusi ke seluruh bagian mesin. - Tetap terjadi kegagalan walaupun proses terbelah dengan baik		Adanya korosi pada komponen oli cooler akan cairan pelumas, sehingga terjadi oli yang menjadi oli mesin yang rusak. - Terjadi inspeksi yang mampu mendeteksi/efektif tetapi tidak sepenuhnya terpanas (pemeriksaan)							6	180
5.	Oil Pump (Mentransferkan oli pelumas dari catu oli ke seluruh komponen mesin yang membutuhkan pelumas) dan juga untuk sirkulasi oli ke seluruh mesin	Efisiensi	Tidak mampu mentransfer oli ke seluruh komponen mesin - Hasil pengujian pengujian redang dan hasil dilakukan ketika mesin tidak dipanaskan (standby)	4	Kerusakan mesin akibat oli yang tidak terdistribusi ke seluruh bagian mesin. - Tetap terjadi kegagalan walaupun proses terbelah dengan baik	3	Pemeliharaan filter oli yang tidak baik pada pompa oli. - Tidak ada inspeksi yang mampu mendeteksi korosi/karat/kelelahan/kelelahan	10	300	4	2	3	48	<p>Mitigasi Kaji Ulang</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pastikan pompa oli terpanas dengan benar</li> <li>- Pastikan koefisien pendingin terpanas</li> <li>- Pastikan oli cooler terpanas dengan baik</li> <li>- Lakukan inspeksi pengujian oli untuk mendeteksi jika menggunakan bahan oli</li> </ul> <p>Mitigasi Deteksi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lakukan pemeliharaan mesin secara berkala</li> <li>- Amati indikator oli mesin</li> <li>- Lakukan inspeksi pengujian oli untuk mendeteksi jika menggunakan bahan oli yang digunakan</li> </ul>	
					Pompa yang korosi. - Tetap terjadi kegagalan walaupun proses terbelah dengan baik		Adanya torsi pada oli yang tidak terdistribusi ke seluruh bagian mesin. - Tidak ada inspeksi yang mampu mendeteksi/efektif tetapi tidak sepenuhnya terpanas (pemeriksaan)							4	144
6.	Zinc Washer	Kerusakan pada permukaan	Gagal menahan bobot air sehingga memunculkan korosi mesin - Hasil pengujian pengujian redang dan hasil dilakukan ketika mesin tidak dipanaskan (standby)	7	Gesekan yang terjadi karena mesin. - Tetap terjadi kegagalan walaupun proses terbelah dengan baik	6	Tidak adanya inspeksi pada mesin yang bisa mendeteksi korosi/karat/kelelahan/kelelahan	9	378	7	1	3	35	<p>Mitigasi Kaji Ulang</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pastikan koefisien pendingin terpanas</li> <li>- Pastikan oli cooler terpanas</li> <li>- Lakukan inspeksi pengujian oli untuk mendeteksi jika menggunakan bahan oli</li> </ul> <p>Mitigasi Deteksi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lakukan pemeliharaan mesin secara berkala</li> <li>- Amati indikator oli mesin</li> <li>- Lakukan inspeksi pengujian oli untuk mendeteksi jika menggunakan bahan oli yang digunakan</li> </ul>	
					Gesekan yang terjadi karena mesin. - Tetap terjadi kegagalan walaupun proses terbelah dengan baik		Fitur oli menjadi panas. - Tidak terjadi inspeksi yang mampu mendeteksi korosi/karat/kelelahan/kelelahan							10	420

Tabel 5. FMEA Sheet Underground LHD (Lanjutan)

Item	Ejemplar	Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Worksheet								Target Mitigasi			Date	
		Typ	Under ground LHD	Failure	Effect	S	Cause	O	Detektor	D	RPN	S	O	D
7	Liner Silinder	Terjadi korosi abnormal	Performa mesin menjadi menurun sehingga menghasilkan tenaga yang tidak biasa - mesin masih dapat dipertahankan tetapi bila tetap dipertahankan maka dalam waktu dekat mesin akan mengalami gangguan berat.	7	Perampasan deposit sisa oli yang yang tertinggal dalam mesin waktu 2 minggu 3 hari - Proses tidak terkontrol dengan baik.	7	Adanya beban gesekan antara piston dan liner silinder - Tidak tersedia mesin oli baru instrument yang mampu mendeteksi konsentrasi, faktor	10	400	7	3	6	126	Mitigasi Kejadian: <ul style="list-style-type: none"> <li>Bersihkan filter udara.</li> <li>Pastikan saluran bahan bakar dalam kondisi baik.</li> </ul> Mitigasi Deteksi: <ul style="list-style-type: none"> <li>Supaya ganti filter udara.</li> <li>Supaya ganti filter bahan bakar.</li> <li>Sampling oli.</li> <li>Pastikan indikator oli normal.</li> </ul>
					Terjadi adanya ketidak homogenan partikel logam - Proses tidak terkontrol dengan baik.	8	Kandungan logam dalam oli - Tidak tersedia mesin oli baru instrument yang mampu mendeteksi konsentrasi, faktor	10	392					Mitigasi Kejadian: <ul style="list-style-type: none"> <li>Refilling oil</li> <li>Bersihkan filter oli atau bahan bakar.</li> <li>Ganti oli yang lebih berkualitas.</li> </ul> Mitigasi Deteksi: <ul style="list-style-type: none"> <li>Perhatikan suhu mesin.</li> <li>Sampling oli.</li> <li>Bersihkan debu yang berada dalam filter udara.</li> </ul>
					Over-heating - Proses tidak terkontrol dengan baik.	6	Fitih oli menjadi lebih encer akibat suhu yang tidak sesuai - Tidak tersedia mesin oli baru instrument yang mampu mendeteksi konsentrasi, faktor	10	392					4
8	Porsier Pump (Membersihkan bahan bakar dan tenaga bahan bakar menuju sistem injeksi bahan bakar) biasanya terdapat di dalam chamber tenaga dan filter bahan bakar	Kebocoran	Pemeriksaan permukaan - masih dapat dipertahankan tetapi bila tetap dipertahankan maka dalam waktu dekat mesin akan mengalami gangguan berat	7	Uraian atau material yang tidak cocok - Tetap terjadi karena walaupun proses terkontrol dengan baik	4	Adanya residu bahan bakar sehingga terakumulasi dengan oli - Tidak tersedia mesin oli baru instrument yang mampu mendeteksi konsentrasi, faktor	18	200	7	2	3	42	Mitigasi Kejadian: <ul style="list-style-type: none"> <li>Refilling oil dengan oli oli.</li> <li>Lakukan pemeriksaan rutin.</li> <li>Bersihkan ruang pump</li> <li>Gantikan material yang berkualitas dan paten.</li> </ul> Mitigasi Deteksi: <ul style="list-style-type: none"> <li>Perhatikan tekanan dan suhu mesin.</li> <li>Pastikan motor atau sistem pengisian kebocoran.</li> <li>Sampling oli.</li> </ul>
					Kerusak pada permukaan ruang pump - Tetap terjadi karena walaupun proses terkontrol dengan baik	4	Terjadi partikel akibat bahan bakar yang tertinggal di dalam oli - Tidak tersedia mesin oli baru instrument yang mampu mendeteksi konsentrasi, faktor	18	200					2
9	Air Filter	Terwujud oli di mesin	Perubahan yang tidak signifikan - Mesin masih dapat dipertahankan tetapi bila tetap dipertahankan maka dalam waktu dekat mesin akan mengalami gangguan berat	7	Uraian filter yang tidak benar - Proses tidak terkontrol dengan baik.	7	Terjadi kontaminasi debu - Kemampuan instrumen tidak memadai terhadap lingkungan sangat bersih	9	441	7	4	4	112	Mitigasi Kejadian: <ul style="list-style-type: none"> <li>Bersihkan filter udara atau diganti dengan baru.</li> <li>Gantikan filter udara yang lebih berkualitas.</li> <li>Pemeriksaan rutin.</li> </ul> Mitigasi Deteksi: <ul style="list-style-type: none"> <li>Lakukan pemeriksaan rutin pada filter udara.</li> <li>Supaya lakukan penggantian oli setelah 240 jam beroperasi.</li> </ul>

## KESIMPULAN

Pada pembahasan FMEA Sheet yang dilakukan berdasarkan hasil *oil analysis* pada *engine underground LHD*. Maka dapat disimpulkan bahwa kegagalan-kegagalan dari 9 komponen yang didapatkan dari hasil *oil analysis* kemudian merancang mitigasi resiko dengan metode FMEA sheet, guna tercapainya tujuan untuk mengklasifikasikan indikasi kerusakan atau penyebab kerusakan berdasarkan sampel oli *engine underground LHD* jenis *caterpillar R1700K* dan memitigasi resiko kerusakan berdasarkan klasifikasi dengan menerapkan *proactive maintenance*. Sehingga kegagalan yang dapat terjadi saat operasional produksi pada unit *underground LHD* dapat dicegah lebih awal.

## SARAN

Sebagaimana skripsi ini dilaksanakan dengan melakukan observasi atau terjun langsung dalam pengambilan data dari hasil oli pelumasan yang digunakan untuk memitigasi resiko kerusakan pada *engine underground LHD* dengan menggunakan metode FMEA Sheet berdasarkan hasil *oil analysis*. Maka ditulisnya saran ini dengan harapan bagi para pembaca yang sedang mencari referensi judul skripsi dan referensi lainnya, serta dapat melakukan riset

atau penelitian dengan menggunakan metode pemeliharaan yang sama namun dapat diterapkan pada unit yang berbeda.

## REFERENSI

- [1] Toms and L. Toms., 2010. Oil analysis and condition monitoring, in Roy M. Mortier, Malcolm F. Fox, Stefan T. Orszulik. Editors Book of Chemistry and Technology of Lubricant, 3<sup>rd</sup> Ed.
- [2] Ahmed Abdel., 2020. EXTREME TRIBOLOGY Fundamentals and challenges.-, USA: CRC Press.
- [3] Anna Gustafson., 2011. Automation of Load Haul Dump Machines Comparative Performance Analysis and Maintenance Modeling. ISBN 978-91-7439-761-1. Chapter 2, 3-7.
- [4] Anna Gustafson., 2013. Automation of Load Haul Dump Machines Comparative Performance Analysis and Maintenance Modeling. ISBN 978-91-7439-761-1.
- [5] Anna Michalak., et al., 2019. Condition monitoring for LHD machines operating in underground mine – analysis of long-term diagnostic data. 27th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Santiago, Chile.
- [6] Arto Laukka., et al., 2016. Condition-based monitoring for underground mobile machines.
- [7] BS-EN., 2010. Maintenance Terminology. European Standard. European Committee for Standardization, Brussels. Standard.
- [8] Candra Dwi Putra., et al., 2018. Analisa kegagalan menggunakan metode failure mode and effect analysis (FMEA) pada unit off-highway truck 777D. SJME Kinematika Volume 3. No. 1 Juni 2018, pp 33-42.
- [9] G.P. Sullivan., et al., 2002. Operation and maintenance best practises a guide to achieving operational efficiency. U.S. Department of Energy.
- [10] Hanunant P. Jagtap., et al., 2021. An integrated approach for interoperability of standards, condition monitoring methods, and research models used in the power generation sector, hal 1.
- [11] ISO 14830-1:, 2019. Condition monitoring and diagnostics of machine systems — Tribology-based monitoring and diagnostics — Part 1: General requirements and guidelines.
- [12] Laura Swanson., 2001. Linking maintenance strategies to performance. Department of Management, Southern Illinois University Edwardsville, Edwardsville, IL 62026-1100, USA.
- [13] Michael Nosonovsky and Bharat Bhushan., 2010. Green tribology: principles, research areas and challenges.
- [14] Om Prakash Sondhiya, Amit Kumar Gupta., 2012. Wear Debris Analysis of Automotive Engine Lubricating Oil Using By Ferrography ISSN: 2277-3754 ISO 9001: 2008 Certified International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 2, Issue 5, November 2012.
- [15] R. Keith Mobley., 2011. Maintenance Fundamentals. 2nd Edition. Hal 2-5 & 8-10
- [16] Restegari, A., et al., 2013. Condition-Based Maintenance In Manufacturing Industries: Introducing Current Industrial Practice And Challenges. In: 22nd International Conference on Production Research, ICPR 20.
- [17] Prasetyo, A. B., P. Utomo, dan Saputro, A. S., 2023 .“Analisis Kegagalan pada Bearing Block Clinker Cooler PT Semen Baturaja Pabrik 2 menggunakan Failure Mode and Effect Analysis Method (FMEA)”, *JMN*, vol. 6, no. 1