

## Analisis Kerusakan Mesin 3516 B Pada Truk 793 C Berdasarkan Oli Menggunakan Data Keausan Uji Laboratorium *Schedule Oil Sampling* (SOS) dengan Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)

Nazha Ali Christy

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: nickyyongkimandalan@gmail.com

### Abstrak

*Kerusakan engine sulit untuk diprediksi apalagi terkait dengan umur dari komponen mesin. Analisis kerusakan pada engine dapat dilakukan berdasarkan oli dilihat dari tren tingkat keausan, memprediksi kemungkinan komponen yang mengalami kerusakan pada engine. Metode yang digunakan yaitu kombinasi analisis oli agar dapat menentukan komponen yang mengalami kerusakan dan menentukan umur komponen berdasarkan tren nilai elemennya dengan Component Meter Unit (CMU) serta mengimplementasikan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk mendukung analisis dengan melihat nilai Risk Priority Number (RPN). Hasil dari analisis ini yaitu didapat adanya keausan yang sedikit di atas normal pada elemen Cu dan Pb di mana pada sampel terakhir nilai Cu 3 dan Pb 5 dengan satuan Particle Per Meter (PPM). Dihasilkan pula prediksi CMU sebelum melewati ambang batas dari wear limit berdasarkan nilai tiap elemen. Fe pada 17931 jam, Cu pada 25963 jam, Pb pada 14417 jam dan Al pada 16927 jam. Keausan ditandai dari analisis FMEA terdapat 3 dengan RPN tertinggi yaitu cutting filter result dengan RPN 280, noise dengan RPN 175 dan scratch dengan RPN 160. Dari elemen Cu dan Pb tersebut dapat ditentukan komponen yang menjadi sumber kerusakan yaitu rocker arm bushing, wrist pin bushing, governor drive and bushings, timing gear thrust bearing, turbocharger bearing, camshaft lifter roller pin, air compressor bearing, rear cluster gear bearing serta main dan rod bearing.*

**Kata kunci :** *Schedule Oil Sampling, Sistem Pelumasan, Diesel Engine, FMEA*

### Abstract

**Abstract--** *Engine failure is difficult to predict, especially related to the age of engine components. Analysis of engine failure can be done based on the oil seen from the trend of wear rates, predicting the possibility of components that are damaged in the engine. The method used is a combination of oil analysis in order to determine the component that is damaged and determine the age of the component based on the trend of the element value with the Component Meter Unit (CMU) and implement the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method to support the analysis by looking at the value of the Risk Priority Number (RPN). The result of this analysis is that there is slightly above normal wear on the Cu and Pb elements, where in the last sample the values for Cu 3 and Pb 5 are Particle Per Meter (PPM). CMU predictions are also generated before passing the threshold of the wear limit based on the value of each element. Fe at 17931 hours, Cu at 25963 hours, Pb at 14417 hours and Al at 16927 hours. Wear is indicated from the FMEA analysis, there are 3 with the highest RPN, namely cutting filter result with RPN 280, noise with RPN 175 and scratch with RPN 160. From these Cu and Pb elements it can be determined which components are the source of damage, namely rocker arm bushings, wrist pin bushings, governor drive and bushings, timing gear thrust bearings, turbocharger bearings, camshaft lifter roller pins, air compressor bearings, rear cluster gear bearings and main and rod bearings.*

**Keywords:** *Schedule Oil Sampling, Lubrication System, Diesel Engine, FMEA*

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan adanya ketersediaan alat berat diperlukan pada industri pertambangan. Truk 793 C berfungsi untuk memindahkan material tambang dan merupakan salah satu alat berat terbanyak yang digunakan pada pertambangan. Ketangguhan dan keandalan mesin diperlukan

untuk menunjang aktivitas pertambangan. Maka dari itu seluruh komponen mesin harus dijaga dan dirawat dengan baik. *Engine* bisa dikatakan dalam performa yang bagus apabila mampu digunakan dalam fungsi yang sesuai dengan waktu yang sudah direncanakan. *Engine* yang digunakan pada truk 793 C merupakan 3516 B dengan 16

silinder. *Engine* terdiri dari bagian-bagian logam yang bergerak seperti poros engkol, batang torak, dan bagian mekanisme katup. Untuk menghindari terjadinya kontak langsung maka perlu diberikan sistem pelumasan. Pelumasan pada *engine* sangat penting, karena tanpa pelumasan komponen-komponen *engine* akan mengalami gesekan secara langsung, sehingga menimbulkan panas dan mengakibatkan kerusakan berupa keausan yang akhirnya umur *engine* dan komponen-komponennya tidak tahan lama.

Keausan merupakan cabang ilmu teknik tribologi yang mengkaji hubungan antara dua permukaan yang saling bergesekan dan mengalami kontak. Dengan besarnya kerugian yang dapat ditimbulkan oleh keausan, maka diperlukan tindakan khusus untuk dapat memperhitungkan dan menganalisa terkait keausan yang terjadi. Keausan mengakibatkan terkelupasnya material pada permukaan *engine* hingga menyebabkan kerusakan *engine* tersebut.

Permasalahan pada *engine* sulit untuk diprediksi apalagi terkait dengan umur dari komponen *engine*. Perlu perawatan yang mengacu pada analisis pada bagian dalam *engine* untuk mengetahui umur tiap komponen.

Salah satu jenis metode perawatan mesin itu dengan metode analisis oli. Oli berperan penting terhadap tercapainya kemampuan dan umur pakai *engine* secara maksimal. Analisis oli sangat bermanfaat dalam sistem pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*). Cara untuk menghindari kegagalan dengan melakukan pengambilan sampel oli terjadwal (*Scheduled Oil Sampling*) serta didukung perawatan sistem pelumas secara rutin dan penggunaan bahan pelumas yang tepat.

Metode lain untuk menganalisis kerusakan pada mesin yaitu *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi lebih lanjut mengenai potensi kegagalan dan akibatnya yang bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dan dapat menghindari kegagalan yang tidak diinginkan.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka masalah yang dapat penulis rumuskan yaitu kerusakan mesin 3516 B pada truk 793 C yang tidak terprediksi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kerusakan pada mesin 3516 B pada truk 793 C dengan data elemen keausan hasil analisis oli dan metode FMEA untuk memprediksi kerusakan mesin.

Penelitian ini menggunakan metode analisis oli yang memiliki keunggulan yaitu dapat melihat kondisi oli yang menjadi salah satu indikasi kesehatan dari oli serta dapat melihat bagian komponen mana yang mengalami kerusakan serta dapat melihat ambang batas nilai dari tiap elemen keausan berdasarkan *Component Meter Unit* (CMU). Selanjutnya menganalisis kerusakan

dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dimana setiap kemungkinan kegagalan yang terjadi dikuantifikasi untuk dibuat prioritas penanganan.

## 2. METODOLOGI

Data yang diperoleh merupakan data sekunder yaitu sampel-sampel yang telah ada sebelumnya dan dengan sengaja dikumpulkan oleh peneliti yang digunakan untuk melengkapi kebutuhan data penelitian. Pengujian sampel oli dilakukan pada Laboratorium SOS Batu Hijau. Berikut langkah– langkah dalam proses analisis kerusakan mesin 3516 B pada Truk 793 C yaitu:

### 2.1 Persiapan (Studi Literatur)

Mengumpulkan data–data yang terdapat pada pedoman-pedoman ataupun literatur–literatur yang terkait dengan materi bahasan yang dianalisis dalam pembahasan laporan ini seperti *wear limit* dengan satuan *Particle Per Meter* (PPM) pada Tabel 1.

**Tabel 1.** *Wear Limit Engine* 3516 B (Caterpillar, 2002)

Elemen	Normal	Sedikit di atas Normal	Di atas Normal
Fe	0-26	27-33	≥34
Cu	0-2	3-4	≥5
Pb	0-3	4-5	≥6
Cr	0	1	≥7
Al	0-3	4-5	≥6

### 2.2 Pengumpulan dan Pengelolaan Data

Pengumpulan data didapat dari data uji laboratorium menggunakan alat *Inductively Coupled Plasma* (ICP) seperti pada Gambar 1 yang akan diambil beberapa sampel oli *engine* 3516 B pada Truk 793 C dengan rentang waktu sesuai dengan interval pengecekan oli untuk dijadikan tren agar terlihat tingkat keausan dari tiap-tiap elemen.



Gambar 1. Inductively Coupled Plasma (ICP)

Uji laboratorium dimulai dari pelabelan oli sampai didapatkan hasil nilai elemen. Data yang diambil yaitu nilai elemen dengan satuan *Particle Per Meter (PPM)*, *Component Meter Unit (CMU)*, *Fluid Hour* dan tanggal sampel. Dalam penelitian ini, peneliti telah mendapatkan data dari 22 sampel oli *engine 3516 B 793 C* seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Sampel Oli *Engine 3516 B* pada Truk 793 C (Sampel *engine 3516 B 793 C* di Laboratorium SOS Batu Hijau)

No	Tanggal Sampel	CMU (jam)	Fluid Hour (jam)	Fe	Cu	Pb	Cr	Al
1	21-Oct-21	12903	498	24	3	5	0	4
2	19-Sep-21	12405	477	22	3	4	0	4
3	15-Aug-21	11928	482	23	3	5	0	4
4	11-Jul-21	11446	574	22	3	5	0	4
5	13-Jun-21	10872	552	22	3	4	0	4
6	16-May-21	10320	526	21	3	4	0	4
7	08-Apr-21	9794	540	21	2	4	0	4
8	01-Mar-21	9254	464	20	2	4	0	4
9	30-Dec-20	8790	536	20	2	3	0	4
10	23-Nov-20	8254	619	21	2	4	0	4
11	23-Oct-20	7835	453	18	2	3	0	3
12	30-Sep-20	7182	574	18	2	2	0	3
13	31-Aug-20	6608	542	17	2	2	0	3
14	04-Aug-20	6066	590	18	2	1	0	3
15	08-Jul-20	5476	501	16	2	1	0	2
16	10-Jun-20	4975	520	15	2	1	0	2
17	13-May-20	4455	529	15	2	1	0	2
18	14-Apr-20	3926	149	8	2	1	0	1
19	07-Apr-20	3777	348	11	2	1	0	2
20	19-Mar-20	3429	508	11	2	1	0	2
21	20-Feb-20	2921	557	8	2	1	0	1
22	22-Jan-20	2364	509	3	0	0	0	1

Dari data tersebut dapat dilihat tingkat kelajuan dari keausan tiap elemen. Kemudian dapat menentukan elemen mana saja yang mengalami keausan dengan kecenderungan meningkat di atas ambang batas. Berikut sumber keausan elemen pada dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Sumber Keausan Elemen (Caterpillar, 2002)

Elemen	Sumber Elemen
Copper (Cu)	<i>Rocker arm bushing, wrist pin bushing, governor drive and bushings, timing gear thrust bearing, turbocharger bearing, camshaft lifter roller pin, air compressor bearing, gear bearing,</i>

Iron (Fe)	<i>Crankshaft, camshaft, valve, valve seat, guides and push rod, cylinder liner timing gear, oil pump shaft, gears and body air compressor</i>
Chromium (Cr)	<i>Piston ring</i>
Lead (Pb)	<i>Main and rod bearing</i>
Aluminium (Al)	<i>Main and rod bearing, timing gear bushing, piston, camshaft bearing, oil pump bushing</i>

### 2.3 Analisis Data

Menganalisis usia pakai yang tersisa dari suatu komponen harus mengetahui dua hal yaitu informasi dari produsen pabrik mengenai jumlah residu keausan komponen yang melampaui ambang batas toleransi keausan atau dengan kata lain komponen telah dianggap rusak dan jam pakai dari komponen yang telah digunakan. Hal ini digunakan untuk menentukan berapa jam lagi waktu pakai yang dapat dimanfaatkan.

Untuk menentukan kapan tepatnya/pada jam ke berapa jumlah residu melampaui ambang batas toleransi maka digunakan metode regresi linear. Regresi linear adalah prosedur-prosedur statistik yang sering digunakan untuk memprediksi hasil. Persamaan regresi linear yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan (1):

$$y = a + bx \tag{1}$$

Untuk mencari nilai a dapat menggunakan rumus pada Persamaan (2):

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{N} \tag{2}$$

Untuk mencari nilai b dapat menggunakan rumus pada Persamaan (3):

$$b = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{N \sum x^2 - (\sum x)^2} \tag{3}$$

y merupakan besar nilai yang diramal/variabel tidak bebas

a merupakan nilai tren pada periode dasar

b merupakan tingkat perkembangan nilai yang diramal

x merupakan unit tahun yang dihitung dari periode dasar/variabel bebas.

Selain menghitung persamaan regresi linearnya, diperlukan juga perhitungan koefisien korelasinya untuk mengetahui tingkat hubungan yang mungkin terdapat di antara dua variabel.

Rumus koefisien korelasi dilihat pada Persamaan (4).

$$r = \frac{N(\sum xy) - (\sum x \sum y)}{\sqrt{N(\sum x^2) - (\sum x)^2} \times \sqrt{N(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (4)$$

Hasil korelasi dibandingkan tingkatan koefisien korelasi. Tingkat koefisien korelasi pada Tabel 4:

**Tabel 4.** Tingkatan Koefisien Korelasi (Yosani, 2006)

Tingkat Koefisien Korelasi	Kategori
0,00 – 0,199	Sangat rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

## 2.4 Identifikasi dengan FMEA

*Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) adalah metode untuk mengidentifikasi dan menganalisis potensi kegagalan dan konsekuensinya untuk merencanakan prosedur pemeliharaan dengan tepat untuk menghindari kerusakan dan kerugian yang tidak terduga.

### A. Melakukan Peninjauan Terhadap Proses

Tinjauan prosedur pemeliharaan harus dilakukan untuk mengidentifikasi kelainan apa pun. Pengumpulan dan pemrosesan data adalah langkah awal untuk mengidentifikasi faktor-faktor terpenting yang berkontribusi terhadap kerusakan, diikuti dengan analisis data untuk menemukan korelasinya.

### B. Mengidentifikasi *Potential Failure Mode* dan Membuat Daftar *Potential Effect*

Setelah mengetahui elemen yang paling tinggi sebagai penyumbang kerusakan pada mesin. Selanjutnya menggunakan acuan *machine profile* dari pabrik, dapat dilihat dari komponen mana saja yang mengandung elemen yang tinggi tersebut. Sehingga bisa diketahui *potential failure* dan *potential effect* yang akan terjadi.

### C. Menentukan Peringkat *Severity*

*Severity rating* adalah tingkat kegagalan yang akan berdampak berupa gangguan pada keseluruhan sistem.

### D. Menentukan Peringkat *Occurence*

*Occurence rating* menunjukkan probabilitas penentuan nilai nominal berdasarkan perkiraan jumlah frekuensi atau jumlah kumulatif kali kegagalan terjadi karena sebab tertentu.

### D. Menentukan Peringkat *Detection*

Menentukan tingkat *detection* yaitu memilih sebuah kontrol proses yang akan mendeteksi secara khusus akar penyebab asal kegagalan. *Detection* ialah sebuah pengukuran buat mengendalikan kegagalan-kegagalan yang bisa terjadi.

### F. Menghitung Nilai *Risk Priority Number* (RPN)

Menghitung nilai masing-masing RPN di mana RPN merupakan hasil perkalian *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D), di mana dapat dinyatakan sebagai Persamaan (5)

$$RPN = (S) \times (O) \times (D) \quad (5)$$

### G. Membuat Prioritas Mode Kegagalan Berdasarkan Nilai RPN untuk Dilakukan Tindakan Perbaikan.

Langkah selanjutnya adalah mengurutkan nilai RPN dari yang terbesar hingga yang terkecil. Kemudian hitung persentase RPN dan persentase kumulatif RPN. Berdasarkan perhitungan RPN diperoleh dari masing-masing *potential effect*.

## 2.5 Menentukan Komponen yang Menjadi Sumber Kerusakan

Dalam menentukan komponen yang menjadi sumber kerusakan, komponen dipilih berdasarkan hasil analisis data dan beberapa tabel standar referensi yang kemudian Dalam menentukan komponen yang menjadi sumber kerusakan, komponen dipilih berdasarkan hasil analisis data dan beberapa tabel standar referensi yang kemudian dibandingkan dengan spesifikasi komponen dari katalog mesin (*Machine Profile*) berbagai produsen komponen. Sumber kerusakan bisa dilihat berdasarkan elemen di tiap komponen masing-masing.

## 2.6 Membuat Tindakan Hasil Analisis

Pada tahap ini penulis membuat tindakan yang harus dilakukan sesuai dengan kondisi mesin berdasarkan hasil analisis yang sebelumnya telah dilakukan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menyajikan hasil berupa analisis hasil uji dari sampel dan analisis oli dengan metode FMEA dimana hasilnya berupa prediksi kerusakan dan dapat mengetahui umur komponen. Berbeda dengan analisis sebelumnya yang berkaitan dengan perubahan sifat pelumas terhadap keausan dan performa mesin yang merujuk pada pengaruh perubahan pelumas terhadap keausan. Persamaannya penelitian ini dengan penelitian sebelumnya mengacu pada analisis dari hasil pengukuran tingkat keausan komponen tersebut.

### 3.1 Analisis Hasil Uji

Analisis menggunakan data hasil uji oli untuk mengetahui kondisi oli yang disebut dengan *Schedule Oil Sampling* (SOS). Tujuan menggunakan data hasil uji oli SOS pada penelitian ini yaitu memberikan informasi mengenai banyak nilai elemen yang terkandung pada oli. Sehingga dapat diprediksi mengenai keausan suatu peralatan serta komponen yang mengalami kondisi aus yang berlebih.

Pengumpulan data oli yang telah dilakukan 22 kali kegiatan sampling oli *engine* 3516 B pada Truk 793 C dengan rentang waktu sesuai dengan interval pengecekan oli pada Laboratorium SOS. Dari sampel uji terakhir yaitu pada *Component Meter Unit* (CMU) 12903 jam (lihat data pada Tabel 2) dapat dikategorikan berdasarkan *wear limit* dari produsen yang terlihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Kategori Tiap Elemen (Sampel *engine* 3516 B 793 C di Laboratorium SOS Batu Hijau)

Elemen	Nilai Elemen Sampel Terakhir (PPM)	Kategori
Fe	24	Normal
Cu	3	Sedikit Di atas Normal
Pb	5	Sedikit Di atas Normal
Cr	0	Normal
Al	4	Normal

Elemen Fe, Cr dan Al berada pada kategori Normal, sedangkan Cu dan Pb sedikit di atas normal. Terdapat keausan pada komponen-komponen di dalam *engine* yang berasal dari sumber keausan elemen Cu yaitu *Rocker arm bushing, wrist pin bushing, governor drive and bushings, timing gear thrust bearing, turbocharger bearing, camshaft lifter roller pin, air compressor bearing, gear bearing* Serta dari sumber keausan elemen Pb yaitu *Main and rod bearing*.

Analisis kerusakan pada komponen *engine* dapat dihitung dari CMU dan nilai elemen yang dicari dari nilai regresi linier menggunakan Persamaan (1) Sebelumnya perlu dicari nilai a yaitu nilai tren pada periode dasar dengan rumus Persamaan (2) dan nilai b yaitu tingkat perkembangan nilai yang diramal dengan rumus Persamaan (3) serta uji tingkat korelasi (r) menggunakan rumus Persamaan (4). Berikut data perhitungan tiap elemen yang diperlukan untuk mencari nilai regresi linier dan korelasi tabel-tabel (Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9) di bawah ini:

**Tabel 6.** Perhitungan Elemen Fe (Sampel *engine* 3516 B 793 C di Laboratorium SOS Batu Hijau dan Hasil Perhitungan Peneliti)

No	Tanggal Sampel	CMU sebagai x (Jam)	Nilai Elemen Fe sebagai y (PPM)	x <sup>2</sup>	xy	y <sup>2</sup>
1	21-Oct-21	12903	24	166487409	309672	576
2	19-Sep-21	12405	22	153884025	272910	484
3	15-Aug-21	11928	23	142277184	274344	529
4	11-Jul-21	11446	22	131010916	251812	484
5	13-Jun-21	10872	22	118200384	239184	484
6	16-May-21	10320	21	106502400	216720	441
7	08-Apr-21	9794	21	95922436	205674	441
8	01-Mar-21	9254	20	85636516	185080	400
9	30-Dec-20	8790	20	77264100	175800	400
10	23-Nov-20	8254	19	68128516	173334	441
11	23-Oct-20	7635	18	58293225	137430	324
12	30-Sep-20	7182	18	51581124	129276	324
13	31-Aug-20	6608	17	43665664	112336	289
14	04-Aug-20	6066	18	36796356	109188	324
15	08-Jul-20	5476	16	29986576	87616	256
16	10-Jun-20	4975	15	24750625	74625	225
17	13-May-20	4455	15	19847025	66825	225
18	14-Apr-20	3926	8	15413476	31408	64
19	07-Apr-20	3777	11	14265729	41547	121
20	19-Mar-20	3429	11	11758041	37719	121
21	20-Feb-20	2921	8	8532241	23368	64
22	22-Jan-20	2364	3	5588496	7092	9
Total		164780	374	1465792464	3162960	7026

**Tabel 7.** Perhitungan Elemen Cu (Sampel *engine* 3516 B 793 C di Laboratorium SOS Batu Hijau dan Hasil Perhitungan Peneliti)

No	Tanggal Sampel	CMU sebagai x (Jam)	Nilai Elemen Cu sebagai y (PPM)	x <sup>2</sup>	xy	y <sup>2</sup>
1	21-Oct-21	12903	3	166487409	38709	9
2	19-Sep-21	12405	3	153884025	37215	9
3	15-Aug-21	11928	3	142277184	35784	9
4	11-Jul-21	11446	3	131010916	34338	9
5	13-Jun-21	10872	3	118200384	32616	9
6	16-May-21	10320	3	106502400	30960	9
7	08-Apr-21	9794	2	95922436	19588	4
8	01-Mar-21	9254	2	85636516	18508	4
9	30-Dec-20	8790	2	77264100	17580	4
10	23-Nov-20	8254	2	68128516	16508	4
11	23-Oct-20	7635	2	58293225	15270	4
12	30-Sep-20	7182	2	51581124	14364	4
13	31-Aug-20	6608	2	43665664	13216	4
14	04-Aug-20	6066	2	36796356	12132	4
15	08-Jul-20	5476	2	29986576	10952	4
16	10-Jun-20	4975	2	24750625	9950	4
17	13-May-20	4455	2	19847025	8910	4
18	14-Apr-20	3926	2	15413476	7852	4
19	07-Apr-20	3777	2	14265729	7554	4
20	19-Mar-20	3429	2	11758041	6858	4
21	20-Feb-20	2921	2	8532241	5842	4
22	22-Jan-20	2364	0	5588496	0	0
Total		164780	48	1465792464	394706	114

**Tabel 8.** Perhitungan Elemen Pb (Sampel *engine* 3516 B 793 C di Laboratorium SOS Batu Hijau dan Hasil Perhitungan Peneliti)

No	Tanggal Sampel	CMU sebagai x (Jam)	Nilai Elemen Pb sebagai y (PPM)	$x^2$	xy	$y^2$
1	21-Oct-21	12903	5	166487409	64515	25
2	19-Sep-21	12405	4	153884025	49620	16
3	15-Aug-21	11928	5	142277184	59640	25
4	11-Jul-21	11446	5	131010916	57230	25
5	13-Jun-21	10872	4	118200384	43488	16
6	16-May-21	10320	4	106502400	41280	16
7	08-Apr-21	9794	4	95922436	39176	16
8	01-Mar-21	9254	4	85636516	37016	16
9	30-Dec-20	8790	3	77264100	26370	9
10	23-Nov-20	8254	4	68128516	33016	16
11	23-Oct-20	7635	3	58293225	22905	9
12	30-Sep-20	7182	2	51581124	14364	4
13	31-Aug-20	6608	2	43665664	13216	4
14	04-Aug-20	6066	1	36796356	6066	1
15	08-Jul-20	5476	1	29986576	5476	1
16	10-Jun-20	4975	1	24750625	4975	1
17	13-May-20	4455	1	19847025	4455	1
18	14-Apr-20	3926	1	15413476	3926	1
19	07-Apr-20	3777	1	14265729	3777	1
20	19-Mar-20	3429	1	11758041	3429	1
21	20-Feb-20	2921	1	8532241	2921	1
22	22-Jan-20	2364	0	5588496	0	0
Total		164780	57	1465792464	536861	205

**Tabel 9.** Perhitungan Elemen Al (Sampel *engine* 3516 B 793 C di Laboratorium SOS Batu Hijau dan Hasil Perhitungan Peneliti)

No	Tanggal Sampel	CMU sebagai x (Jam)	Nilai Elemen Al sebagai y (PPM)	$x^2$	xy	$y^2$
1	21-Oct-21	12903	4	166487409	51612	16
2	19-Sep-21	12405	4	153884025	49620	16
3	15-Aug-21	11928	4	142277184	47712	16
4	11-Jul-21	11446	4	131010916	45784	16
5	13-Jun-21	10872	4	118200384	43488	16
6	16-May-21	10320	4	106502400	41280	16
7	08-Apr-21	9794	4	95922436	39176	16
8	01-Mar-21	9254	4	85636516	37016	16
9	30-Dec-20	8790	4	77264100	35160	16
10	23-Nov-20	8254	4	68128516	33016	16
11	23-Oct-20	7635	3	58293225	22905	9
12	30-Sep-20	7182	3	51581124	21546	9
13	31-Aug-20	6608	3	43665664	19824	9
14	04-Aug-20	6066	3	36796356	18198	9
15	08-Jul-20	5476	2	29986576	10952	4
16	10-Jun-20	4975	2	24750625	9950	4
17	13-May-20	4455	2	19847025	8910	4
18	14-Apr-20	3926	1	15413476	3926	1
19	07-Apr-20	3777	2	14265729	7554	4
20	19-Mar-20	3429	2	11758041	6858	4
21	20-Feb-20	2921	1	8532241	2921	1
22	22-Jan-20	2364	1	5588496	2364	1
Total		164780	65	1465792464	559772	219

Dari tabel-tabel di atas dapat dibuat tabel total berdasarkan elemennya yaitu elemen Fe, Cu, Pb dan Al. Untuk elemen Cr tidak dihitung karena pada sampel elemen Cr tidak memiliki Nilai (0). dari perhitungan hasil uji tiap elemen pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Total Perhitungan Hasil Uji Tiap Elemen (Sampel *engine* 3516 B 793 °C di Laboratorium SOS Batu Hijau dan Hasil Perhitungan Peneliti)

Elemen	CMU ( $\Sigma x$ )	Nilai Elemen ( $\Sigma y$ )	$\Sigma x^2$	$\Sigma xy$	$\Sigma y^2$	Jumlah Sampel (N)
Fe	164780	374	1465792464	3162960	7026	22
Cu	164780	48	1465792464	394706	114	22
Pb	164780	57	1465792464	536861	205	22
Al	164780	65	1465792464	559772	219	22

**Tabel 11.** Tingkat Koefisien Korelasi Tiap Elemen (Sampel *engine* 3516 B 793 °C di Laboratorium SOS Batu Hijau dan Hasil Perhitungan Peneliti)

Elemen	CMU ( $\Sigma x$ )	r	Tingkat Koefisien Korelasi
Fe	164780	0.9196025	Sangat kuat
Cu	164780	0.7592870	Kuat
Pb	164780	0.9541438	Sangat kuat
Al	164780	0.9229590	Sangat kuat

Hasil perhitungan tingkat koefisien korelasi tiap elemen didapatkan hasil kuat dan sangat kuat sehingga dapat diteruskan perhitungan untuk memprediksi kerusakan tiap komponen engine dilihat dari *Component Meter Unit* (CMU) berdasarkan nilai elemennya. Untuk menghitung prediksi tiap elemen, nilai CMU ditambah dengan 502 jam. 502 jam merupakan nilai rata-rata dari *fluid hours* pada sampel-sampel oli. Prediksi pertama CMU merupakan nilai CMU akhir sampel ditambah dengan 502 jam dan terus ditambah 502 jam tiap prediksinya. Selanjutnya menghitung prediksi pada sampel dan CMU ke berapa nilai tiap elemen hampir mendekati ambang batas toleransi yang memungkinkan komponen tersebut harus diganti atau diperbaiki.

Untuk membuat tabel prediksi pada sampel dan CMU ke berapa nilai elemen Fe hampir mendekati ambang batas toleransi yang memungkinkan komponen tersebut harus diganti atau diperbaiki. Diperlukan perhitungan dengan menggunakan regresi linier yaitu mencari dengan rumus Persamaan (1). Nilai x pada rumus merujuk pada CMU perkiraan. Perlu dicari juga nilai a dengan rumus Persamaan (2) dan nilai b dengan rumus Persamaan (3) untuk memenuhi persamaan linier.

Perhitungan prediksi CMU terus dilakukan hingga mendekati ambang batas toleransi tiap elemen. Sehingga komponen yang mengandung elemen tersebut harus segera diperiksa lebih lanjut terkait pergantian atau adanya tindakan perbaikan.

Dari perhitungan tersebut dapat memprediksi umur komponen melalui prediksi CMU yang menandakan adanya kerusakan lanjut yang harus mengganti atau memperbaiki komponen berdasarkan *Component Meter Unit* (CMU) dan nilai tiap elemen. Hasil prediksi CMU dapat dilihat pada Tabel 12.

**Tabel 12.** CMU Perkiraan dari Tiap Elemen (Perhitungan Peneliti)

Elemen	Sampel ke-	CMU Perkiraan (Jam)	Nilai Elemen Perkiraan (PPM)
Fe	10	17931	33.306858
Cu	26	25963	4.9884602
Pb	3	14417	5.8790094
Al	8	16927	5.9260214

**3.2 FMEA**

Mesin 3516 B pada Truk 793 C selalu melakukan perawatan dan ganti oli secara rutin. Bila ada anomali pada mesin diinformasikan sebagai laporan dari *feedback* berupa *action taken*. Data tersebut diolah menjadi sumber data untuk analisis FMEA yang sudah diurutkan berdasarkan RPN tertinggi menggunakan rumus Persamaan (5) seperti yang dilihat pada Tabel 13

RPN Cutting Filter Result =  $6 \times 9 \times 5 = 270$   
 RPN Noise =  $5 \times 7 \times 5 = 175$   
 RPN Scratch =  $4 \times 8 \times 5 = 160$   
 RPN Vibration =  $5 \times 6 \times 5 = 150$   
 RPN Leak =  $4 \times 6 \times 6 = 144$

**Tabel 13.** Hasil Analisis FMEA (Pehitungan Peneliti)

Potential Failure	Potential Effect	Severity	Occurrence	Detection	RPN
Cutting Filter Result	Jumlah partikel yang banyak	6	9	5	270
Noise	Keausan pada bearing, kurangnya oli, terdapat celah antar komponen	5	7	5	175
Scratch	Keausan, jumlah partikel yang banyak, fluid hour lewat dari interval	4	8	5	160
Vibration	Komponen yang tidak kencang	5	6	5	150
Leak	Penyekat yang rusak/tidak rapat	4	6	6	144

Dari hasil analisis FMEA terdapat 3 dengan RPN tertinggi yaitu *cutting filter result*, *noise* dan *scratch*.

**3.3 Tindakan Hasil Analisis**

Tindakan yang harus dilakukan terkait dengan anomali tersebut yaitu segera periksa *engine* bila terdengar bunyi yang berisik dan periksa kondisi *rocker arm bushing*, *wrist pin bushing*, *governor drive and bushings*, *timing gear thrust bearing*, *turbocharger bearing*, *camshaft lifter roller pin*, *air compressor bearing*, *gear bearing* serta *main* dan *rod bearing* pada sampel berikutnya. Ambil sampel pada setelah 100 jam dan melakukan *filter cut* untuk memonitor partikel pada *oil filter*.

Hasil prediksi kerusakan lanjut yaitu harus mengganti atau memperbaiki komponen berdasarkan *Component Meter Unit* (CMU) dan nilai tiap elemen dapat digunakan sebagai acuan

penggantian komponen dan perawatan yang lebih intensif. Sehingga tidak menunggu komponen rusak yang dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen lain.

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil dari penelitian dengan judul Analisis Kerusakan Mesin 3516 B Pada Truk 793 C Berdasarkan Oli Menggunakan Data Keausan Uji Laboratorium *Schedule Oil Sampling* (SOS) dengan Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Hasil analisis kerusakan pada mesin 3516 B pada truk 793 C dengan data elemen keausan didapat keausan yang sedikit di atas normal pada elemen Cu dan Pb berdasarkan *wear limit* di mana pada sampel terakhir nilai Cu 3 dan Pb 5 dengan satuan *Particle Per Meter* (PPM).
2. Dengan menggunakan perhitungan regresi linier dan uji korelasi dapat dihasilkan pula prediksi *Component Meter Unit* (CMU) sebelum melewati ambang batas dari *wear limit* berdasarkan nilai tiap elemen. Fe pada 17931 jam, Cu pada 25963 jam, Pb pada 14417 jam dan Al pada 16927 jam.
3. Setiap kemungkinan kegagalan yang terjadi dikuantifikasikan untuk dibuat prioritas penanganan. Keausan ditandai dari analisis FMEA terdapat 3 dengan RPN tertinggi yaitu *cutting filter result* dengan RPN 280, *noise* dengan RPN 175 dan *scratch* dengan RPN 160.
4. Dari elemen Cu dan Pb tersebut dapat ditentukan komponen yang menjadi sumber kerusakan berdasarkan *machine profile* dari produsen yaitu *rocker arm bushing*, *wrist pin bushing*, *governor drive and bushings*, *timing gear thrust bearing*, *turbocharger bearing*, *camshaft lifter roller pin*, *air compressor bearing*, *rear cluster gear bearing* serta *main* dan *rod bearing*.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1]. Bahri, S., & Yuza, P. S. (2019). Analisa Kerusakan (Deformasi) *Engine Mounting* Kendaraan Toyota Agya Berdasarkan Tingkat Vibrasi Berbasis Mem Accelerometer. *Resistor*

[2]. Awaludin, A. (2018). Analisis Sistem Pelumasan Engine Diesel Toyota Dyna 14B. 7. 7(2).

[3]. Jamaludin. (2021). Analisis Perbandingan Pemakaian Oli Pelumas Pada Engine Pesawat Terbang Jenis CFM56-7 dan Engine CFM LEAP-1B. 10(2)

[4]. Rizaldy, N. D., & Johanes, S. (2021).

- Analisa Perubahan Sifat Pelumas Terhadap Keausan Dan Performa Engine SAA12v140E-3 Komatsu HD785-7. *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi Proses*, 2(1), 6.
- [5]. Sulistiono, N. E. (2021). Proses Pembuatan Mesin Tribometer Tipe Pin on Disk Test Berstandar Astm G 99. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), 115.
- [6]. <https://doi.org/10.22441/jtm.v10i2.12271>
- [7]. Caterpillar. (2002). *Machine Profiles 793*. Caterpillar Inc
- [8]. Caterpillar Inc. (2013). *Intermediate Engine System*. Student Ha. Melbourne
- [9]. Chrysler, L. (2008). *Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA): Reference Manual*. Ford Motor Company
- [10]. Darmawan, D. (2018). *Analisa Kelayak Umur Pakai Oli Yamalube Matic SAE 20W-40 Berdasarkan Viskositas Kinematik dan Total Acid Number Pada Sepeda Motor Yamaha X Ride*
- [11]. Firmansyah. (2006). *Analisis Sistem Pelumas pada Mesin Honda Civic 16 Valve*.
- [12]. Gwidon W. Stachowiak, Andrew W, B. (n.d.). *Engineering Tribology*. Butterworth Heinemann
- [13]. Hermawati, L., Mujiarto, I., Kundori, K., & Hariyadi, S. (2020). Analisa Pengukuran Cylinder Liner dan Piston pada Overhaul Diesel Engine. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*
- [14]. *Lubrication, Friction and Wear*. (1971). National Aeronautics and Space Administration
- [15]. Mara, M., & Kurniawan, A. (2015). Analisa Pemurnian Minyak Pelumas Bekas Dengan Metode Acid and Clay. *Dinamika Teknik Mesin*
- [16]. McDermott, R. . (2009). *The Basics of FMEA edition 2*. CRC Press
- [17]. Meru, R. S., & Saksono, P. (2014). *Analisa Performansi Engine Caterpillar Model 3176 Setelah Proses Overhaul*
- [18]. Novantara, G. N. (2018). *Analisa Kelayak Umur Pakai Minyak Pelumas Federal Oil Ultratec SAE 20W-50 Berdasarkan Viskositas Kinematik dan Total Base Number Pada Sepeda Motor Honda Supra X 125*
- [19]. Prasetyo, F. A. (2018). *Analisa kerusakan diesel engine breakdown pada excavator s 500 lc-v ( study kasus di pt. kobexindo tractors tbk)*
- [20]. Rabeta, B. (2016). Analisis Performa Engine Marchetti Sf 260. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*
- [21]. Saputra, R. F. (2018). Analisa Engine Performance dan Combustion Process dari Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Campuran. *Journal of Physical Therapy Science*
- [22]. Sinaga, R. D. (2015). Analisa Penurunan Kualitas Oli Terhadap Pengaruh Jarak Tempuh Operasional Mesin Menggunakan Minyak Pelumas Nabati Dengan Dan Tanpa Penambahan Zat Aditif. *Jurnal Rekayasa Proses*
- [23]. Trakindo Utama, P. (n.d.). *SOS Laboratorium Trakindo Utama*
- [24]. Caterpillar. (n.d.). *SIS 2.0 Web*
- [25]. Yosani, C. (2006). Teknik Analisis Kuantitatif. *Makalah Teknik Analisis II*
- [26]. Andiyanto, S., Sutrisno, A., & Punuhsingon, C. (n.d.). *Penerapan Metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) untuk Kuantifikasi dan Pencegahan Resiko Akibat Terjadinya Lean Waste*. 6