

ANALISIS PERUBAHAN SIFAT PELUMAS TERHADAP KEAUSAN DAN PERFORMA MESIN SAA12V140E-3 KOMATSU HD785-7

Novendra David Rizaldy

Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi,
Universitas Gadjah Mada
Jln. Yacaranda, Sekip Unit VI, Catur Tunggal,
Yogyakarta 55281, Indonesia
novendra.david.rizaldy@mail.ugm.ac.id

Susanto Johannes^{*}

Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi,
Universitas Gadjah Mada
Jln. Yacaranda, Sekip Unit VI, Catur Tunggal,
Yogyakarta 55281, Indonesia
s.johanes@ugm.ac.id
^{*} *corresponding author*

ABSTRAK

Penurunan viskositas pada pelumas *engine* berpengaruh terhadap sifat pelumas sehingga bisa menyebabkan kerugian gesek dan peningkatan konsumsi bahan bakar. Selain itu, pelumas dengan viskositas rendah akan menyebabkan tingkat keausan yang lebih tinggi dan kurangnya performa *engine*.

Penelitian ini menguji pelumas mesin SAA12V140E-3 dari Komatsu HD785-7 dengan program pemeriksaan mesin (PPM), *overhaul engine*, pengukuran *inner part* dan *dyno test*. Setelah *engine* selesai *overhaul*, selanjutnya melakukan inspeksi pada *inner part* untuk mengetahui apakah komponen dapat digunakan lagi, harus diganti atau diperbaiki.

Hasil pengujian dan pengukuran menunjukkan bahwa tingkat keausan *inner part* pada mesin SAA12V140E-3 masih normal. Performa mesin sesudah *overhaul* mengalami peningkatan mencapai 94% atau hampir mendekati performa mesin baru.

Kata kunci: Pelumas, *engine overhaul*, sifat pelumas.

PENDAHULUAN

Keausan terjadi apabila dua buah benda yang saling menekan dan bergesekan. Keausan lebih besar terjadi pada bahan yang lunak. Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan, tekanan, kekasaran permukaan dan kekerasan bahan. Semakin besar kecepatan relatif benda yang bergesekan, maka material semakin aus [1] [2]. Demikian pula semakin besar tekanan pada permukaan benda yang kontak, maka material akan cepat aus. Keausan mengakibatkan terkelupasnya material pada permukaan benda hingga menyebabkan kerusakan benda tersebut. Untuk mengatasi keausan biasanya diberikan pelumas [3] [4].

Pelumasan komponen *engine* berdasarkan pada kecepatan, tekanan, dan temperatur. Penurunan viskositas pelumas *engine* harus diperhatikan karena akan berpengaruh terhadap sifat pelumas. Proses pelumasan mengalami peningkatan kerugian gesek dan konsumsi bahan bakar. Selain itu, pelumas dengan viskositas rendah menyebabkan tingkat keausan yang lebih tinggi. Hal ini jika tidak segera diselesaikan akan menambah biaya perawatan dan mengurangi umur *engine* serta berakibat pada meningkatnya biaya operasi secara keseluruhan. Pelumas dengan viskositas rendah dapat mengurangi gesekan hidrodinamik [3].

Rumusan dari penelitian ini adalah menganalisis

pengaruh perubahan sifat pelumas terhadap keausan *inner parts* pada *engine diesel dump truck* Komatsu HD785-7. Analisis ini memeriksa kandungan pelumas dan melakukan pengukuran *inner parts*. Beberapa hasil program analisis pelumas menemukan kandungan material yang berbeda-beda yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat keausan pada *inner parts*. Berdasarkan permasalahan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. tingkat keausan *inner part* berdasarkan data program analisis pelumas.
2. performa *engine* selama pengoperasian berdasarkan data *Vehicle Health Monitoring System* (VHMS).
3. performa *engine* sebelum proses *overhaul* berdasarkan data program pemeriksaan mesin (PPM).
4. keausan *inner part* setelah *engine overhaul*.
5. performa *engine* setelah proses *overhaul* berdasarkan data *dyno test*.

Batasan dalam penelitian ini adalah:

1. analisis keausan pada *inner part* hanya pada bagian *bearing*.
2. Data diambil dari tujuh sampel program analisis pelumas terakhir
3. menggunakan data PPM terakhir dan VHMS.
4. analisis *dyno test* setelah proses *overhaul*.

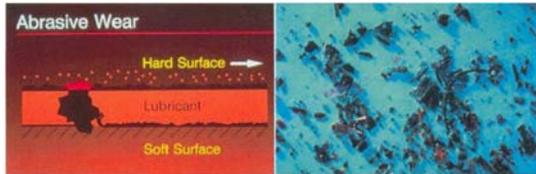
TINJAUAN PUSTAKA

Dump truck Komatsu HD785-7 menggunakan *engine* tipe SAA12V140E-3. *Engine* ini memiliki akselerasi, kecepatan dan daya tiap ton yang tinggi. Sistem injeksi *High Pressure Common Rail* (HPCR), *air to air aftercooler* dan *turbocharger* memungkinkan *engine* menjadi emisi EPA tier 2 yang memberikan daya *output* bersih maksimum 1200 HP. Torsi yang tinggi pada kecepatan rendah, akselerasi tinggi dan konsumsi bahan bakar yang rendah memastikan produktivitas tinggi. Teknologi HD785-7 memiliki konsumsi bahan bakar yang rendah, keamanan dan kenyamanan untuk operator, serta peningkatan daya tahan dan kehandalan tinggi.

Dalam mesin terdapat kontak mekanik antara elemen mesin satu dengan yang lainnya. Kontak mekanik ini merupakan salah satu penyebab terjadinya keausan (*wear*). Keausan ini harus dihindari untuk

elemen mesin yang mentransmisikan daya.

Abrasive wear adalah jenis keausan yang terjadi apabila permukaan yang lebih unak, mengalami goresan (Gambar 1). Abrasi juga bisa disebabkan oleh partikel keras diantara permukaan yang saling kontak. *Fragment abrasive* dalam fluida yang mengalir cepat juga dapat menyebabkan abrasi permukaan. Jika partikel keras tersebut masuk ke dalam sistem pelumasan maka pencegahannya adalah mengeliminasi kontaminan keras tersebut.



Gambar 1. *Abrasive wear* (PT Trakindo).

Faktor yang terkait dengan ketahanan material terhadap *abrasive wear* antara lain:

1. kekerasan dan struktur mikro material.
2. ukuran partikel *abrasive*.
3. geometri.

Bentuk kerusakan permukaan akibat keausan *abrasive*, antara lain:

1. *scratching*.
2. *scoring*.
3. *gouging*.

Program Pemeriksaan Mesin adalah program pemeliharaan berupa inspeksi rutin pada peralatan alat berat. PPM meliputi pemeriksaan sistem hidrolis mesin, *chassis* dan perlengkapan operasi lainnya. Program ini nantinya dapat meningkatkan performa mesin, penyesuaian dan analisis saat inspeksi mesin. Hasil inspeksi berupa rekomendasi perbaikan yang dibutuhkan agar peralatan tetap berada pada kondisi prima.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Workshop PT Saptaindra Sejati, Jalan Raya Narogong Km. 14, Pangkalan V, Bantargebang, Bekasi, antara bulan Januari hingga April 2019.

Alat Penelitian

Pengambilan data sebagai bahan analisis pada penelitian ini membutuhkan beberapa peralatan. Alat-alat yang digunakan terdiri dari alat utama dan pendukung sebagai berikut:

1. Alat utama
Engine diesel SAA12V140E-3 unit *dump truck* Komatsu HD785-7 dengan spesifikasi pada Tabel 1.
2. Alat pendukung
Vernier calliper, *micrometer*, *cylinder bore gauge* dan *dyno test*

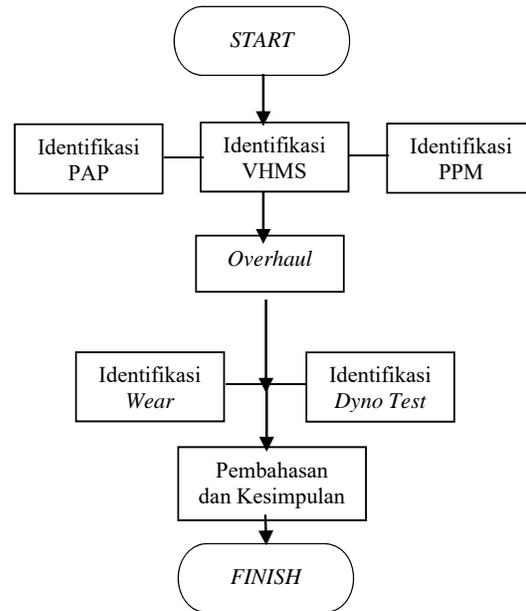
Tabel 1 Spesifikasi *Engine*

Engine Type	Common Rail Injection
<i>Engine Serial Number</i>	503073
<i>Engine Model</i>	SAA12V140E-3
<i>Number of Cylinder</i>	12 <i>Cylinder</i>
<i>Number of Valve</i>	<i>Valve</i>
<i>Fuel Type</i>	<i>Diesel</i>
<i>Cylinder Bore</i>	140 mm
<i>Piston Stroke</i>	<i>Square Stroke</i>
<i>Rated Power</i>	1160-1240/1900+-50
<i>Firing Order</i>	1-5-3-6-2-4

Tahap Pengambilan Data

Proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel analisis pelumas.
2. Pengambilan data VHMS.
3. Proses PPM.
4. Pengukuran keausan *inner part* setelah *engine overhaul*
5. Tes performa *engine* setelah *overhaul* (*dyno test*)



Gambar 2. Proses penelitian.

Tahap Pengelompokan Data

Data dalam penelitian ini diperoleh dari:

Data Primer

Data primer yaitu data yang diperoleh secara langsung melalui pengukuran dan pembacaan pada alat dan dari bacaan alat ukur pada masing-masing pengujian.

- a. Data program Analisis pelumas

Program Analisis Pelumas atau PAP adalah hasil analisis pelumas yang diserahkan kepada *Oil Sampling Analysis* (OSA) untuk dilakukan uji sampling pelumas. Data ini berfungsi sebagai bukti kondisi pelumas *engine* di dalam *engine system*.

- b. Data VHMS

VHMS adalah hasil pemeriksaan sistem *engine* yang diunduh dengan *personal computer* (PC).

Tujuannya adalah untuk mengetahui kondisi *engine* pada masing-masing sistem.

c. Data PPM

PPM adalah hasil pemeriksaan yang dilakukan oleh mekanik untuk mengetahui kondisi *engine* setelah beroperasi.

d. Data pengukuran *inner part*

Pengukuran *inner part* dilakukan untuk mengetahui tingkat keausan komponen tersebut.

e. Data *Dyno Test*

Dyno test merupakan data hasil pemeriksaan performa *engine* setelah dilakukan *overhaul*.

Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari hasil pengujian pelumas pada *diesel engine* yaitu kandungan pelumas, tingkat keausan pada *inner parts*, serta hasil dari PPM dan VHMS.

Tahap Analisis Hasil

1. Pengelola Data

Data-data PAP, PPM, VHMS, pengukuran keausan *inner part*, dan *dyno test*, kemudian diolah untuk menentukan langkah awal menganalisis laju keausan *inner part* dan perbandingan performa mesin saat *inner part* aus dan saat tidak aus.

2. Analisis Data

Setelah semua data diolah, analisis dilakukan untuk menemukan komponen yang mengalami keausan sehingga unit mengalami penurunan performa.

3. Kesimpulan

Hasil olah data dan analisis akan menghasilkan kesimpulan tentang laju keausan *inner part* dan performa mesin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian untuk mengetahui pengaruh perubahan pelumas terhadap keausan *inner part* dilakukan dengan mengukur tingkat keausan komponen tersebut. Data hasil pengukuran dipadukan dengan data PAP untuk mengetahui laju keausan setiap komponen *inner part*. Data PPM dan *engine dyno test* digunakan untuk membandingkan daya dan torsi *engine* antara kondisi komponen aus dengan kondisi komponen baru (belum aus). Pengukuran *inner part* dilakukan di beberapa titik.

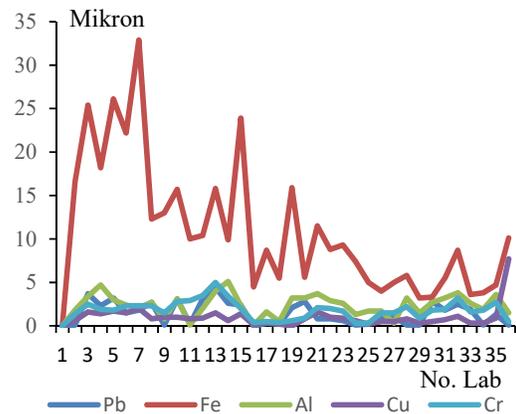
Program Analisis Pelumas

Pengujian sampel pelumas *engine* SAA12V140E3 dilakukan menggunakan alat *On Site Analyzer* atau OSA. Dalam analisis pelumas terdapat *contamination control*, yaitu sebuah upaya untuk mengontrol tingkat kontaminasi sekecil mungkin. Tujuannya menghindari kontaminasi yang dapat merusak komponen-komponen atau mengganggu proses kerja. Berikut ini adalah data hasil pengujian:

Analisis Kandungan *Wear Metal*

Gambar 3 memperlihatkan nilai kandungan Pb yang mengalami penurunan pada operasi tiga bulan

terakhir. Kandungan Pb pada *engine* terdapat pada lapisan *metal bearing*. Saat awal *engine* beroperasi, kandungan Pb cukup tinggi untuk membantu mengatasi gesekan *crankshaft* dan *connecting rod* yang dapat menyebabkan *bearing* menjadi aus. Lapisan kedua pada *bearing* setelah Pb adalah Cu.



Gambar 3. Grafik *wear metal*.

Nilai *contaminant* Cu pada dua bulan terakhir mengalami kenaikan rasis. Komponen yang mengandung Cu dari lapisan kedua *bearing* (*near failure*) adalah *wrist pin bushing*, *cam bushing*, *oil cooler*, *valve tran bushing*, *governor*, dan *oil pump*. Jika lapisan Pb dalam *bearing* sudah tidak ada, maka keausan akan terjadi pada lapisan kedua. Saat kandungan Pb sudah turun, maka kandungan Cu menjadi lebih tinggi.

Unsur selanjutnya adalah Fe. Nilai Fe pada operasi tiga tahun merupakan *contaminant* tertinggi dibanding *contaminant* yang lain. Keausan komponen yang dengan unsur Fe adalah *cylinder liner*, *gear*, *ring piston*, lapisan ketiga *bearing*, *crankshaft*, *wrist pin*, *camshaft*, *valve train*, dan *oil pump*. Pada sampel awal, kandungan *contaminant* Fe sangat tinggi. Hasil uji ke 20 hingga uji ke 34 menunjukkan penurunan *trend* kandungan Fe. Hal ini terjadi karena gesekan pada komponen yang mengandung Fe semakin berkurang.

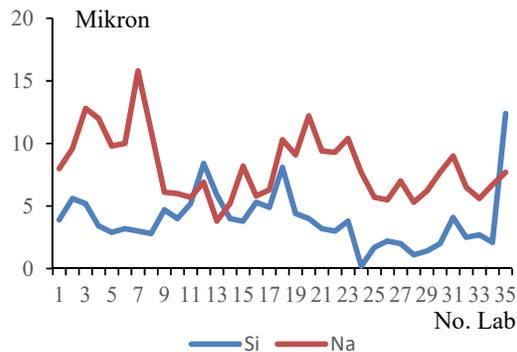
Kandungan Al pada Gambar 3 relatif normal dan tidak ada kenaikan yang signifikan. Komponen di dalam *engine* yang mengandung Al adalah *piston*, *bearing*, *bushing*, *block*, *housing*, *oil pump bushing*, *blower*, *thrust bearing*, dan *cam bearing*. Gesekan terjadi antara *piston* (banyak mengandung Al) dengan *cylinder liner* (dominan mengandung Fe). Tingginya unsur Fe dan stabilnya kadar Al dalam pelumas menunjukkan bahwa tingkat keausan *cylinder liner* lebih tinggi dibandingkan dengan *piston*.

Sama dengan kandungan Al, kandungan Cr juga relatif normal dan rendah. Komponen di dalam *engine* yang mengandung Cr adalah *ring*, *roller*, *taper bearing*, *exhaust valve*, dan *water treatment*.

Analisis *Contaminants*

Gambar 4 menunjukkan data program analisis pelumas. Bahan pelumas ternyata mengandung silikon

dan sodium. Silikon dapat menyebabkan timbulnya gumpalan yang mengikis permukaan logam selama *engine* beroperasi. Keberadaan kandungan silikon, Fe, dan Al, menunjukkan adanya kotoran dalam porsi rendah pada *engine*. Hal ini dapat dipakai sebagai petunjuk tentang terjadinya keausan pada *crankshaft* dan *bearing*.

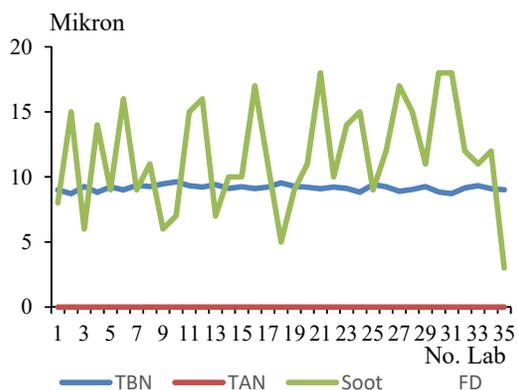


Gambar 4. Grafik contaminants.

Kandungan sodium yang paling besar terdapat di dalam *coolant*. Keberadaan unsur tersebut mengindikasikan adanya kebocoran *coolant* yang masuk ke dalam sistem pelumasan. Selanjutnya terdapat kandungan air di dalam *engine* yang menjadi mengindikasi terjadinya kontaminasi dari luar, baik karena embun atau kebocoran air pendingin. Kontaminasi *coolant* atau air dalam pelumas dapat mempercepat terjadinya oksidasi (karat) pada komponen mesin.

Analisis Infrared

Gambar 5 menunjukkan kandungan jelaga pada pelumas dengan kenaikan dan penurunan yang signifikan. Kenaikan kadar jelaga dalam pelumas disebabkan oleh *air intake* yang tersumbat, kekurangan dalam sistem bahan bakar atau oleh terjadinya perubahan cara operasi mesin. Kandungan jelaga yang tinggi tidak langsung menyebabkan kerusakan mesin, tetapi partikel ini mudah terurai dan menyumbat *oil filter* serta menyusutkan bahan aditif *dispersant*.

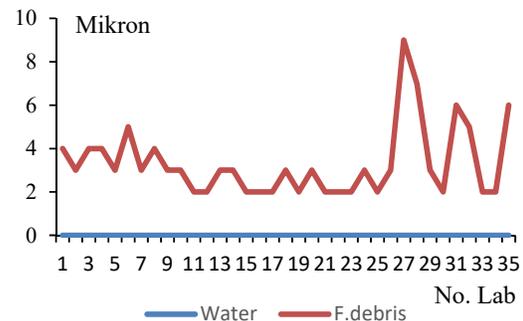


Gambar 5. Grafik Infra-red.

Total Base Number (TBN) relatif normal dan stabil. Angka TBN ini menunjukkan kemampuan pelumas untuk menyerap asam korosif seperti asam mineral yang terbentuk dari *sulfur*, *chlorine*, dan *bromine*.

Analisis Physical Test

Gambar 6 menunjukkan kandungan air dalam pelumas adalah nihil, sedangkan kandungan *fuel* dalam pelumas mengalami kenaikan signifikan.

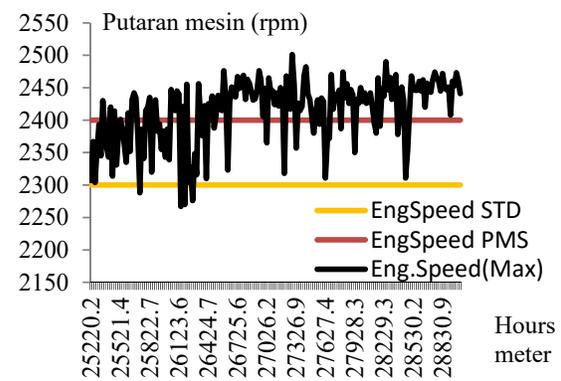


Gambar 6. Grafik Physical Test.

Kontaminasi *fuel* dapat menurunkan kadar pelumas. Oli tidak memiliki lapisan penguat yang dibutuhkan untuk memperkuat ketahanan gesekan antar logam sehingga dapat merusak *bearing* dan melonggarkan *piston*.

Analisis Engine Speed

Gambar 7 menunjukkan putaran mesin saat di atas nilai *standard* atau *permissible* (batas yang diijinkan). Pada *engine* SAA12V140E-3 *standard engine speed* adalah 2300 rpm, sedangkan *engine speed* yang diijinkan adalah 2400 rpm. Unit mengalami *over speed* yang menyebabkan roda memutar *engine* dimana seharusnya *engine* yang memutar roda. Kondisi jalan merupakan penyebab terjadinya *engine over speed*.

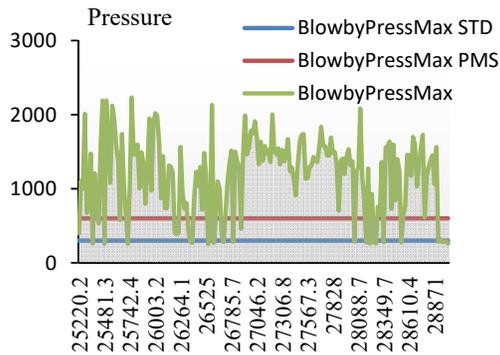


Gambar 7. Grafik engine speed.

Analisis Engine Blow by

Data hasil *engine blow by* menunjukkan nilai di atas *standard* dan *permissible*. Hal ini terkait dengan fenomena sering muncul asap berwarna putih yang

keluar dari *muffler* dan penurunan tenaga mesin yang signifikan.



Gambar 8. Grafik *blow by*.

Setelah dilakukan *overhaul* pada *engine*, diketahui bahwa penyebab *blow by* yang tinggi adalah kerusakan *cylinder head packing*. Hal ini bisa menyebabkan bocornya kompresi mesin sehingga tidak dapat dinyalakan kembali dari keadaan mesin mati. Selain kebocoran *packing cylinder head*, *cylinder head* bengkok saat terjadi *overheating* sehingga menyebabkan munculnya celah tipis antara *cylinder head*, *packing* dan blok mesin. Kompresi mesin akan menurun atau bocor.



Gambar 9. *Cylinder*.

Analisis Keausan *Cylinder Liner*

Hasil pengukuran *cylinder liner* sebagaimana tertera pada Tabel 2, menunjukkan bahwa diameter *inside cylinder liner* pada bagian kanan mengalami keausan tertinggi 0,03 mm dan terendah 0,01 mm. Keausan *cylinder liner* pada bagian kiri, tertinggi sebesar 0,03 mm dan terendah 0,00 mm atau tidak mengalami keausan. Semua *cylinder liner* memiliki *roundness* sebesar 0,01 mm.

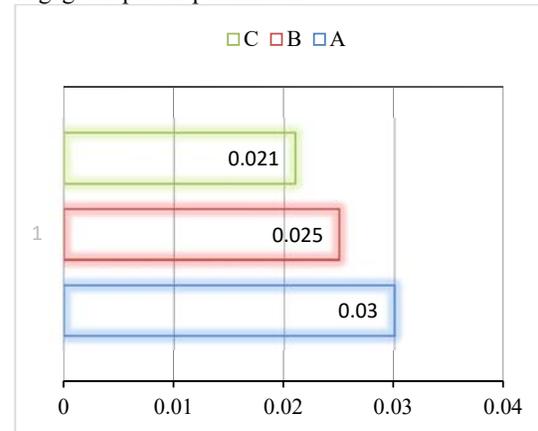
Semua *cylinder liner* pada bagian A (pengukuran 20 mm dari atas) memiliki keausan yang sama yaitu 0,03 mm, sedangkan pada bagian B memiliki keausan bervariasi antara 0,01 mm hingga 0,03 mm. Berikutnya *cylinder liner* bagian C (pengukuran 20 mm dari bawah) memiliki tingkat keausan tertinggi hanya 0,02 mm dan pada bagian sumbu Y dari silinder liner 1L (silinder 1 bagian kiri) tidak memiliki keausan. *Engine SAA12V140E-3* memiliki *cylinder liner* dengan standar ukuran 140 mm, toleransi 0,02 mm, serta memiliki standar *roundness* maksimal 0,02 mm.

Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa semua *cylinder liner* masih dalam batas spesifikasi.

Tabel 2. Pengukuran *cylinder liner*

NOMOR LINER	BAGIAN PENGUKURAN					
	A		B		C	
	X-X'	Y-Y'	X-X'	Y-Y'	X-X'	Y-Y'
LINER 1R	140,03	140,03	140,03	140,03	140,02	140,02
LINER 2R	140,03	140,03	140,01	140,02	140,02	140,01
LINER 3R	140,03	140,03	140,03	140,03	140,02	140,02
LINER 4R	140,03	140,03	140,03	140,02	140,01	140,02
LINER 5R	140,03	140,03	140,02	140,02	140,02	140,02
LINER 6R	140,03	140,03	140,02	140,03	140,02	140,02
LINER 1L	140,03	140,03	140,03	140,02	140,01	140
LINER 2L	140,03	140,03	140,02	140,02	140,02	140,01
LINER 3L	140,03	140,03	140,03	140,03	140,01	140,02
LINER 4L	140,03	140,03	140,01	140,03	140,01	140,02
LINER 5L	140,03	140,03	140,01	140,02	140,02	140,02
LINER 6L	140,03	140,03	140,03	140,03	140,01	140,01

Keausan *cylinder liner* diakibatkan oleh kontak kering dengan *ring piston*. Tingkat keausan di *cylinder liner* sangat dipengaruhi oleh material komponen, geometri kontak kedua komponen (ukuran dan kekasaran permukaan) dan kondisi operasi (tekanan dan pelumasan). Keausan dinding silinder dari data pada Gambar 10 bernilai cukup besar pada titik mati atas (*top dead center*), dimana hal ini akibat kegagalan proses pelumasan.



Gambar 10. Tingkat keausan *cylinder liner*

Gambar 9 menunjukkan hasil pemeriksaan visual pada *cylinder liner* yang mengalami keausan jenis *abrasive wear*. *Cylinder liner* mengalami keausan pada permukaan dalam yang bergesekan dengan *piston* dan *ring piston*. Keausan ini akibat kurangnya pelumasan pada bagian antara *cylinder liner* dengan *ring piston*, sehingga terjadi gesekan secara langsung antara kedua komponen tersebut. Goresan-goresan pada *cylinder liner* sering muncul pada permukaan aus sepanjang gerakan *piston*. Hal ini meningkatkan kebutuhan akan

minyak pelumas sekaligus mengurangi performa pembakaran. keausan dan goresan pada *cylinder liner* dapat mengurangi umur dari komponen tersebut.

Analisis Keausan Main Metal

Data pengukuran *thick main metal* pada Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai keausan tertinggi adalah 0,03 mm. Hal ini diperoleh dari pengukuran ketebalan *main metal* sebesar 4,47 mm, sedangkan standar ukurannya adalah 4,50 mm. Hasil pengukuran ini juga menunjukkan beberapa titik yang tidak mengalami keausan.

Tabel 3. Pengukuran *thick main metal*

DATA PENGUKURAN THICK MAIN METAL						
MAIN METAL	BAGIAN PENGUKURAN					
	A		B		C	
	AX	AY	BX	BY	CX	CY
1 UP	4,47	4,47	4,48	4,48	4,47	4,48
2 UP	4,47	4,48	4,5	4,47	4,48	4,49
3 UP	4,47	4,48	4,49	4,5	4,5	4,48
4 UP	4,46	4,47	4,47	4,47	4,49	4,47
5 UP	4,48	4,48	4,5	4,47	4,48	4,48
6 UP	4,49	4,47	4,47	4,48	4,5	4,48
7 UP	4,5	4,47	4,47	4,48	4,5	4,47
1 BTM	4,47	4,49	4,5	4,49	4,49	4,48
2 BTM	4,5	4,5	4,47	4,47	4,48	4,48
3 BTM	4,49	4,5	4,47	4,48	4,5	4,47
4 BTM	4,5	4,5	4,48	4,48	4,49	4,48
5 BTM	4,5	4,5	4,47	4,49	4,49	4,5
6 BTM	4,48	4,49	4,48	4,49	4,48	4,48
7 BTM	4,5	4,5	4,47	4,47	4,49	4,48

Gambar 11 menunjukkan hasil pemeriksaan visual pada *main metal* yang mengalami keausan jenis *abrasive wear*. Nampak bahwa *bearing* mengalami keausan pada permukaan. Keausan ini diakibatkan oleh aliran pelumas pada *main metal* yang kurang sempurna. Akibatnya terjadi gesekan langsung antara *main metal* dan *main journal crankshaft*.



Gambar 11. Keausan *main metal*.

Analisis Program Pemeriksaan Mesin

Data tabel 4 merupakan data hasil pemeriksaan mesin selama tiga periode sebelum proses *overhaul*.

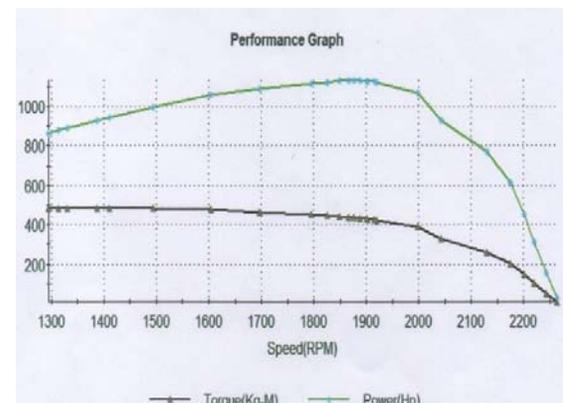
Dari data tersebut terlihat bahwa sebelum dilakukan *overhaul*, mesin masih dalam kondisi baik. Semua hasil pengujian PPM dalam kondisi *standar* dan *permissible*. Namun mesin terlihat bahwa mesin mengalami penurunan performa pada beberapa sistem. Hal ini menyebabkan unit tidak dapat bekerja dengan maksimal.

Tabel 4. Data PPM

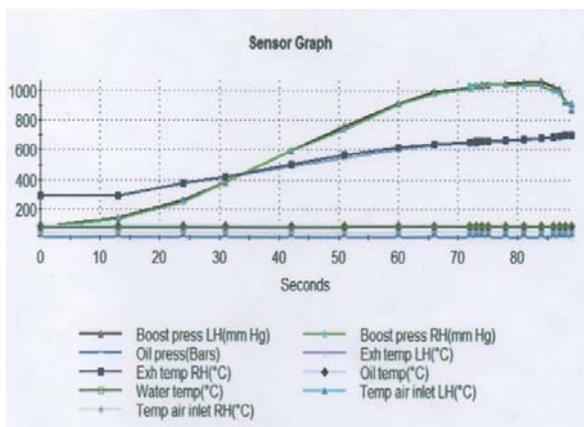
PPM				
Data	STD	I	II	II
Engine Speed (RPM)	625-675	625	655	655
	2200-2300	2207	2210	2198
	1550-1750	1670	1650	1590
Blow-by Pressure (mmH ₂ O)	Max. 300 / Max. 600	230	190	135
Lab Oil Pressure (kg/cm ²)	1 / 0,7	1.8	1.7	2
Boost Pressure LH (mmHg)	3 - 5 / Min. 2	4.25	3.8	4.5
	Min. 950 / Min 850	1000	850	1000
Boost Pressure RH (mmHg)	-	150	250	350
	-	200	300	400
Ambient Temp. (°C)	Min. 950 / Min 850	1050	900	950
	-	200	250	350
Exhaust Gas Temp. LH (°C)	-	250	300	400
	-	30	30	30
Exhaust Gas Temp. RH (°C)	Max. 700 / Max 750	605	630	572
	Max. 700 / Max 750	594	596	error
Exhaust Gas Temp. RH (°C)	Max. 700 / Max 750	error	248	error
	Max. 700 / Max 750	error	396	error

Analisis *dyno test*

Data *dyno test* pada Gambar 13, menunjukkan bahwa *engine* memiliki performa yang lebih baik daripada sebelum proses *overhaul*. Hal ini dikarenakan saat *overhaul*, semua komponen yang aus telah diganti dengan komponen yang baru.



Gambar 12. Grafik *performance test*.



Gambar 13. Grafik *sensor graph*.

Tabel 4. Data hasil uji *running test*.

No.	<i>Standard (manual)</i>		<i>Actual (tested)</i>	
	RPM	HP	RPM	HP
1	650	0		
2	1000	75		
3	1250	197		
4	1550	489		
5	1800	852		
6	1900	1200	1902	1127

Performa yang didapatkan setelah proses *overhaul* ini adalah sebesar $\frac{1127}{1200} \times 100\%$ atau 94%. Performa ini cukup baik, mendekati kemampuan *engine* dalam keadaan baru.

KESIMPULAN

1. Tingkat keausan *inner part* berdasarkan data program analisis pelumas masih normal.
2. Performa *engine* selama pengoperasian berdasarkan data *Vehicle Health Monitoring System* (VHMS) mengalami penurunan dan *engine* dapat dinyatakan *abnormal*.
3. Performa *engine* sebelum proses *overhaul* berdasarkan data program pemeriksaan mesin (PPM) masih sesuai standar dan *permissible*.
4. Keausan *inner part* setelah *engine overhaul* masih sesuai standar dan *permissible*.
5. Performa *engine* setelah proses *overhaul* berdasarkan data *dyno test* adalah 94%.

Referensi

- [1] Al Amien, 1994, "Laju dan Mekanisme Keausan Abrasive Bahan Komposit Karbon Vinyl/Ester", Thesis, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [2] Tarina, D., dan Kaelani, Y., 2012, "Studi Eksperimental Laju Keausan (Secisif Wear Rate) Resin Akrilik dengan Penambahan Serat Penguat pada Detal Prosthesis", Jurnal Teknik Mesin Surabaya.

- [3] Heywood, J.B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundamental*, McGraw Hill Inc., New York.
- [4] Bale, J.S., 2009, "Pengaruh faktor Keausan Die Drawn UHMWPE akibat Tegangan Kontak untuk Aplikasi Sendi Lutut Tiruan", Jurnal Teknik Mesin UNC Kupang.
- [5] PT Trakindo, 2011, *Applied Failure Analysis Buku Panduan Siswa*, Training Center PT Trakindo, Cileungsi.
- [6] Syaiful, 2012, *Teknologi Motor Diesel*. Bandung, Alfabeta.