

PENENTUAN MASA PENGGANTIAN PELUMAS MELALUI MONITORING PELUMAS

Arluky Novandy ^{*)}

ABSTARK

Produk Pelumas adalah produk olahan dari minyak bumi yang berfungsi untuk melumasi mesin, baik mesin kendaraan maupun mesin industri. Pelumas diformulasikan untuk memperpanjang usia mesin ketika beroperasi, sehingga kemampuan pelumas dalam membentuk lapisan film adalah modal utama dalam melapisi mesin sehingga bisa mengurangi gesekan antar logam. Masa penggunaan pelumas umumnya bergantung pada manual dari peralatan yang kita pakai. Tentunya dalam hal ini, pelumas yang harus digunakan adalah pelumas yang sesuai dengan rekomendasi bawaan alat tersebut. Kekurangannya adalah harga pelumas bawaan alat tersebut sangatlah mahal karena pelumas tersebut harus di import. Dengan mahalnya harga pelumas bawaan alat maka tentunya ada keinginan dari si pemakai alat untuk mengganti jenis pelumas bawaan alat tersebut dengan pelumas buatan lokal (dalam negeri) sehingga bisa menekan biaya operasi suatu perusahaan. Bergantinya jenis pelumas tentunya guidance masa penggantian pelumas sangatlah diperlukan, sedangkan guidance masa penggantian pelumas bawaan alat adalah sesuai dengan pelumas bawaan alat itu sendiri. Nah, disinilah diperlukan suatu monitoring performa pelumas untuk mengetahui kapan penggantian pelumas sebaiknya dilakukan, sehingga ketergantungan terhadap pelumas import bawaan alat bisa di eliminir.

I. KARAKTERISTIK FISIKA DAN KIMIA PELUMAS

a. Viskositas

Salah satu pengukuran daripada sifat alir dari pelumas adalah viskositas. Viskositas adalah properti yang paling penting dari minyak pelumas. Viskositas dari pelumas daer secara alami berbeda beda, hal ini bergantung dari jenis crude yang diolah. Pengukuran viskositas umumnya ditetapkan dengan menggunakan peralatan uji Viskositas Kinematik Bath and Capillair yaitu ASTM Test for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (D 445) dan satuan yang digunakan sebagai hasil pengukuran adalah Centistokes (cSt).

Secara khusus, viskositas dilaporkan pada dua jenis suhu yakni 40 oC dan 100 oC. Untuk kebanyakan pelumas industri, viskositas kinematik umumnya diukur pada suhu 40 oC karena hal ini berbasis pada ISO (ISO 3448 : Viscosity Classification for Industrial Liquid Lubricants). ISO Viscosity Grade ini disepakati bersama oleh ASTM, ASLE, BSI dan DIN pada tahun 1975. Demikian pula untuk mesin bensin, kebanyakan viskositas secara khusus diukur pada suhu 100 oC (untuk memperoleh harga VI) karena hal ini sesuai dengan kesepakatan SAE Viscosity Classification (J300), dimana dalam kesepakatan ini, viskositas pelumas

untuk semua grade minyak lumas Automotive Engine adalah 100 oC.

Tujuan daripada pelumasan adalah agar supaya terbentuk lapisan film di antara permukaan dua logam yang bergesekan, maka pemilihan daripada pelumas haruslah tepat sesuai dengan kebutuhan, artinya sesuai dengan beban kerja yang dialami oleh logam tersebut akibat dari gesekan yang terjadi.

Viskositas pelumas yang terlalu tinggi akan menyebabkan hal hal sbb :

- Menghasilkan panas yang berlebihan yang dapat menghasilkan oil oxidation (Oksidasi minyak lumas), sludge dan varnish.
- Gaseous Cavitation karena aliran pelumas yang tidak tepat ke dalam pompa dan bearing.
- Kurangnya lubrikasi (Lubrication Starvation) karena aliran pelumas yang tidak pas akibat terlalu viscosnya pelumas.
- Konsumsi energi yang berlebihan untuk mengatasi friksi fluida
- Demulsibiliti yang kurang
- Cold Start Pumpability tidak bagus.

Viskositas pelumas yang kurang dapat menghasilkan hal hal sbb :

- Hilangnya film pelumas yang dapat menyebabkan excessive wear.
- Meningkatkan friksi mekanis yang menyebabkan konsumsi energi yang berlebihan.
- Menghasilkan panas karena adanya friksi mekanis.
- Kebocoran luar dalam
- Meningkatkan sensitivitas terhadap kontaminan partikel karena menrunnya film pelumas
- Gagalnya film pelumas pada suhu kerja yang tinggi, beban yang berat atau selama start up.

b. Viskositas Indeks (VI)

Salah satu properti penting lain dari pelumas adalah Viskositas Indeks (VI). Viskositas Indeks ini adalah angka yang tidak ada unit satuannya (Unitless Number) yang dipergunakan untuk menunjukkan pengaruh perubahan temperatur pada pelumas.

Dalam aplikasinya, Viskositas indeks sangat penting karena akan berpengaruh pada start up dan karakteristik pengoperasian mesin. Misal untuk mesin dengan sistem transmisi otomatis akan memerlukan pelumas dengan VI tinggi karena diperlukan untuk start up pada kondisi dingin dan pada suhu tinggi saat kendaraan berjalan normal.

c. Flash Point COC dan Fire Point

Uji Flash Point diperlukan untuk mengetahui adanya fraksi yang lebih ringan dari pelumas, yaitu untuk faktor safety (Keselamatan). Test ini dapat diperlukan sebagai tindakan pencegahan bahaya ledakan bila operasi suatu alat / mesin berlangsung pada temperatur tinggi. Selain itu test ini juga membantu analisis untuk mengidentifikasi type type base oil blends.

d. Copperstrip Corrosion

Uji Copperstrip Corrosion diperlukan sehubungan terjadinya proses oksidasi dan penambahan bahan aditif pada pelumas.

Pada pelumas yang viskositasnya terlalu rendah akan menghasilkan panas yang berlebihan yang dapat menghasilkan oil oxidation (Oksidasi Pelumas). Untuk menghindari oksidasi tersebut, pada pelumas ditambahkan aditif Oxidation Inhibitors, sebab bila oksidasi ini tidak dicegah akan terbentuk sludge dan varnish.

Penambahan aditif Detergent-disperants pada pelumas diperlukan untuk menunda terbentuknya sludge dan varnish yang disebabkan karena adanya oksidasi pada suhu tinggi.

Kandungan air dan asam dari pelumas hasil dari sisa oksidasi suhu tinggi dapat dicegah dengan menambahkan aditif corrosion inhibitors. Jenis corrosion inhibitors yang digunakan adalah senyawaan garam garam alkali.

e. Tendensi Pembusaan

Pembusaan pada minyak lumas terjadi bila pada minyak lumas tersebut dikenakan udara sehingga timbul gelembung gelembung didalamnya (Foaming). Gelembung gelembung foam ini sangat mengganggu jalannya operasi mesin pada kondisi tertentu sebab akan menyebabkan gagalnya sistem kerja dari bearing kecuali jika gelembung gelembung ini cepat hilang. Selain itu gelembung gelembung foaming dapat menyebabkan terjadinya luapan minyak dari oil reservoirnya sehingga akan terjadi kesalahan pembacaan level minyak lumas di reservoirnya.

Pada peralatan hidrolis, kondisi foaming ini akan menyebabkan minyak lumas memercik atau menjadi compressible sehingga akan kehilangan sifat elastic hydrodinamicnya (terjadi elastic deformation) yang berakibat tidak teraturnya suatu operasi kerja dari peralatan yang mana peralatan hidrolis ini sebagai penunjang utamanya. Untuk mencegah terbentuknya foam yang berlebihan, maka pada minyak lumas ditambahkan Anti Foam.

f. Carbon Residue

Uji karbon residu dimaksudkan untuk menentukan kecenderungan pembentukan karbon pada silinder. Uji

karbon residu ini sebenarnya sedikit sekali signifikansinya terhadap performa dari pelumas karena pembentukan karbon residu ditentukan oleh beberapa faktor yaitu : fuel consumption, pengoperasian mesin, kondisi mekanis, dan sifat fisika dan kimia dari pelumas itu sendiri. Penentuan karbon residu saat ini banyak diaplikasikan utamanya pada :

- base oil untuk pembuatan minyak lumas mesin,
- straight mineral engine oil, seperti minyak lumas mesin pesawat terbang,
- dan beberapa type produk cylinder heavy oil

g. Warna Pelumas

Signifikansi uji warna pelumas sangat berarti bagi para refiner karena akan memberikan petunjuk bagi refiner bahwa proses telah berjalan dengan benar yaitu pada proses treatment dan penambahan aditif., utamanya untuk minyak putih (white oil).

h. Density atau Specific Gravity atau API Gravity

Uji Density atau API Gravity bermanfaat untuk mengevaluasi pelumas bekas. Pada pelumas bekas akan terjadi penurunan angka specific gravity/Density, yang mana hal ini mengindikasikan bahwa pelumas bekas tersebut telah mengalami fuel dillution. Tetapi bila angka specific gravity meningkat dari biasanya maka hal ini mengindikasikan bahwa pada pelumas bekas tersebut telah terdapat kontaminan, seperti material-material yang telah teroksidasi.

i. Neutralization Number

Pada proses treating dengan menggunakan asam, akan menyebabkan angka asam dari minyak akan meningkat. Maka diperlukan

proses penetralan dengan menggunakan larutan basa. Selain berasal dari proses treating, asam juga terdapat pada produk minyak (produk petroleum hidrokarbon) yang telah mengalami oksidasi. Oksidasi dari minyak pelumas terjadi karena adanya pemanasan pada suhu tinggi, sehingga hasil oksidasinya cenderung menghasilkan asam. Jadi pengukuran angka asam suatu minyak lumas adalah suatu cara untuk mengetahui minyak pelumas telah mengalami oksidasi atau belum. Umumnya dari hasil analisa ini digunakan untuk mencegah agar pelumas tidak mengalami oksidasi maka ditambahkan zat aditif. Tetapi zat aditifpun bisa juga menyebabkan harga Neutralization Number menjadi tinggi.

Uji ini juga berfungsi sebagai alat kontrol untuk mengetahui adanya oksidasi pada sistem pelumasan pada mesin turbin. Selain itu uji ini juga digunakan untuk mengetahui kapan seharusnya pelumas mulai diganti.

j. Pour Point

Pour point pelumas adalah temperature terendah dimana minyak lumas masih mampu mengalir tanpa adanya gangguan mekanis. Uji fisik ini menunjukkan performa pelumas pada suhu rendah. Bila pada pelumas terdapat kandungan wax yang tinggi maka pada suhu rendah kristal-kristal wax akan terpisah dari minyak, dan kristal-kristal wax ini akan menghambat kinerja dari pelumas sebagai fungsi pelumasan

k. Sulfated Ash

Sulfated ash dari minyak pelumas adalah residu yang diukur dengan satuan berat dimana setelah residu pada pembakaran pertama ditambah dengan sulfuric acid kemudian dibakar lagi hingga

didapatkan residu logam yang tidak dapat terbakar lagi. Uji ini untuk mengukur adanya material yang tidak habis terbakar yang terkandung di dalam minyak pelumas. Material yang tidak dapat terbakar ini biasanya terdapat pada aditif yang ditambahkan pada pelumas. Aditif ini biasanya mengandung senyawa metallo-organic yang akan membentuk residu pada uji sulfated ash. Pada pelumas bekas, bila uji sulfated ash meningkat maka hal ini menunjukkan bahwa pada pelumas bekas tersebut telah terdapat berbagai kontaminan seperti kotoran dll.

I. Aniline Point

Minyak yang memiliki temperature kelarutan yang tinggi bisa dipastikan mengandung sedikit aromatik dan memiliki senyawa tipe aliphatic lebih banyak daripada produk minyak yang memiliki temperatur aniline point rendah. Meskipun uji ini lebih banyak dimaksudkan untuk solvent, tetapi tidak menutup kemungkinan pelumas diuji dengan metode uji ini. Sebab setiap minyak akan selalu berhubungan dengan seal system, dimana seal bila bertemu dengan senyawa aromatik maka seal akan rusak. Bukan hanya seal, tetapi juga gasket, o-ring, dan beberapa komponen elastomer. Umumnya aniline point dari pelumas cukup tinggi, tetapi kondisi operasi yang akan dilakukan oleh pelumas juga tinggi, maka dikhawatirkan pada kondisi operasi yang tinggi ini senyawa aliphatic yang ada pada pelumas memisahkan diri dari pelumas. Sifat solvency dari pelumas juga berasal dari aditif yang ditambahkan ke pelumas, dimana aditif-aditif yang menyebabkan sifat solvency dari pelumas tinggi (yang ditandai dengan semakin rendahnya aniline point dari

pelumas) adalah VI Improver, antiwear agent, detergent, dan antioksidan.

II. MONITORING KUALITAS PELUMAS

Dengan melakukan sampling di titik sampling yang benar dari suatu sistem di suatu mesin dan mengevaluasinya di laboratorium akan memberikan beberapa informasi sifat fisika dan kimia dari suatu pelumas. Kemudian informasi ini bisa digunakan sebagai dasar dalam mengambil suatu keputusan terhadap peralatan yang sedang beroperasi, yaitu seperti :

- a. Jika kondisi pelumas sangat buruk, maka hal ini mengindikasikan bahwa pelumas perlu segera di drain dan diganti secepatnya.
- b. Jika terdapat tanda-tanda adanya kerusakan aditif dan aditif yg terdapat pada pelumas mulai berkurang, maka dimungkinkan untuk merencanakan memeberhentikan mesin dan mengganti pelumas pada saat yg tepat (sesuai schedul)
- c. Jika aditif yang ada di pelumas tidak mengalami degradasi, tetapi terdapat kontaminan padatan atau air, maka secepatnya pelumas di drain, kemudian dibersihkan dari air dan padatan sehingga pelumas bisa digunakan kembali ke sistem.
- d. Jika pelumas secara kasat mata sama bagusnya dengan pelumas yang masih baru, maka kita bisa memutuskan untuk meneruskan penggunaan pelumas tersebut.

Dengan kata lain, bahwa analisa pelumas di laboratorium adalah sangat penting untuk memonitoring kondisi mesin secara tidak langsung.

Pemilihan jenis analisa yang diperlukan untuk mengetahui kondisi pelumas bergantung pada bagaimana pelumas tersebut mengalami

deteriorasi. Ada beberapa penyebab pelumas mengalami deteriorasi yaitu :

1. overheating dan oksidasi
2. berkurangnya kemampuan aditif
3. kontaminasi

a. Overheating Dan Oksidasi

Jika pelumas mengalami overheating maka kondisi ini mengindikasikan adanya produk hasil oksidasi yang hadir di pelumas. Beberapa produk hasil oksidasi dari pelumas adalah : organik aldehid atau asam, yang mengandung grup senyawa karbonil. Grup senyawa ini bisa dideteksi dengan alat uji infra red spectroscopy, yaitu ditunjukkan dengan suatu grafik hasil uji seperti gambar berikut :

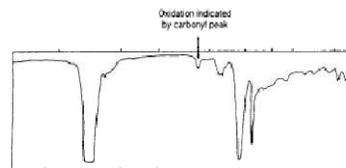


Fig. 12.1 Infra-red spectrum showing oxidation

Tetapi alat uji infra red spectroscopy tidak bisa mendeteksi adanya asam karbonil di pelumas dengan dasar ester). Beberapa metode uji lainnya yang bisa digunakan menganalisis pelumas yang mengalami oksidasi dengan hadirnya asam organik di pelumas yaitu dengan uji angka asam dengan metode uji seperti : IP 139, IP 177 atau IP 431. Sedangkan uji angka basa seperti metode uji IP 139, IP 276, IP 400, atau IP 417 dapat digunakan untuk menunjukkan sejumlah tertentu aditiv yang masih tersisa di pelumas.

Berikut perbedaan hasil uji pelumas bekas dengan menggunakan angka asam dan angka basa :

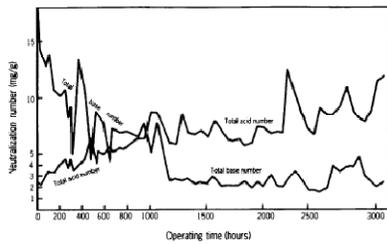


Fig. 12.2 Neutralization number change in a diesel engine

Jika pelumas mengalami oksidasi berat (severe oxidation) maka hasil oksidasi pelumas yang mengalami oksidasi berat ini umumnya berupa tar atau padatan hasil oksidasi. Untuk pelumas yang diduga mengalami oksidasi berat dan di pelumas bekas tersebut hadir pula padatan hasil oksidasi, maka pengujian yang diperlukan adalah uji “pentane insoluble” yaitu metode uji ASTM D 893.

b. Berkurangnya Kemampuan Aditif

Banyak aditif mengandung senyawaan yang mana senyawaan ini tidak ditemui di base oil. Senyawaan ini pada umumnya. Seperti : anti oksidant, yang didalamnya banyak terkandung nitrogen atau fosfor, sedangkan anti wear dan extreme pressure aditif banyak mengandung senyawa sulfur, fosfor, atau yang jarang ditemui yaitu mengandung pula chlorine. Aditif yang paling banyak digunakan adalah senyawaan dialkyl dithiophosphat yang mengandung sulfur, fosfor, dan logam-logam yang sering bersenyawaan dengan dialkyl dithiophosphat seperti zinc, magnesium atau vanadium.

Maka sebab itu berkurangnya kemampuan suatu aditif bisa dideteksi secara langsung dari berkurangnya salah satu elemen yang terikat di dalam senyawa aditif tersebut. Beberapa metode uji di ASTM dan IP telah memunculkan beberapa uji

adanya chlorine, nitrogen, fosfor, sodium, sulfur, zinc, dan beberapa logam lainnya. Uji ini didasarkan atas colorimetric, gravimetric, polarimetric, potensiometric, dan beberapa teknik lainnya. Uji – uji laboratorium tersebut sangatlah mahal.

Beberapa aditif yang mengandung elemen fosfor atau silikon dapat dimonitor secara akurat dan murah dengan menggunakan spectrometric oil anlysis.

c. Kontaminasi

Ada kemungkinan bahwa pelumas yang sedang kita gunakan mengalami kontaminasi oleh sesuatu yang menyebabkan sifat fisika dan kimia pelumas menjadi rusak. Ada beberapa kontaminasi yang perlu kita kenali terlebih dahulu, yaitu seperti :

1. kontaminasi dengan bahan bakar
2. kontaminasi dengan solvent atau fluida proses lainnya
3. kontaminasi dengan padatan
4. kontaminasi dengan air

1. Kontaminasi dengan bahan bakar

Kontaminasi dengan bahan bakar bisa saja disebabkan karena adanya kondensasi bahan bakar (residu sisa pembakaran bahan bakar di ruang bakar) pada temperatur rendah dan ring piston tidak berfungsi dengan baik.

Kontaminasi akibat bahan bakar juga bisa akibat peristiwa over rich combustion mixture (campuran udara bahan bakar yang terlalu/berlebihan) akibat buruknya pengaturan injektor di karburator (umumnya disebabkan adanya kebocoran pada sistem inector sehingga banyak udara yang masuk melalui injector). Kondisi ini sering kali dikenal dengan istilah oil dilution, dan beberapa metode uji yang digunakan

untuk mendeteksi adanya oil dilution yaitu ASTM D 322 dan IP 23. Uji-uji laboratorium ini sangatlah mahal, tetapi sangatlah efektif untuk mengetahui adanya kegagalan dari suatu sistem. Uji lainnya yang bisa digunakan untuk mendeteksi adanya peristiwa oil dilution akibat adanya kebocoran di sistem injeksi bahan bakar yaitu uji Viskositas Kinematik ASTM D 445. Berikut grafik monitoring melalui uji viskositas yang menunjukkan kondisi sistem injektor di sistem pembakaran mesin bensin atau mesin diesel :

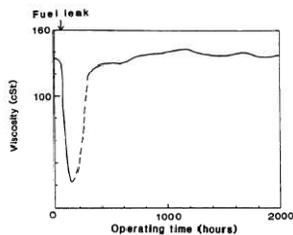


Fig. 12.3 Viscosity monitoring showing effect of a fuel leak

2. Kontaminasi dengan solvent atau fluida proses lainnya

Seperti halnya bahan bakar, sebagian besar fluida proses dan solvent juga bisa menurunkan viskositas pelumas bila solvent tersebut mengkontaminasi pelumas saat beroperasinya mesin. Uji lainnya yang bisa dilakukan adalah uji Flash Point. Uji flash point bisa dilakukan asalkan titik nyala dari solvent lebih rendah dari titik nyala pelumas. Tetapi bila pelumas terkontaminasi solvent refrigerant seperti solvent yang mengandung klorin atau flour tidak dapat dimonitor dengan menggunakan pengujian flash point karena solvent yang mengandung klorin atau flour memiliki titik nyala yang sedikit lebih tinggi atau sama dengan titik nyala pelumas.

3. Kontaminasi dengan padatan

Uji yang umum digunakan untuk mendeteksi secara langsung adanya kontaminan padatan di pelumas yaitu "pentane soluble". Berikut gambar grafik uji pentane soluble terhadap pelumas yang mengalami kontaminasi dengan padatan :

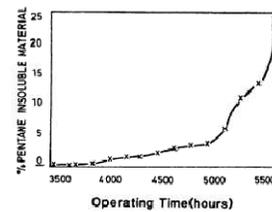


Fig. 12.4 Increase in pentane insoluble materials in a faulty diesel engine

Kontaminasi pelumas dengan padatan juga bisa meningkatkan viskositas pelumas yang diuji pada suhu 40 oC dan 100 oC, dan gambar berikut menunjukkan adanya trend kenaikan pelumas bekas yang mengalami kontaminasi dengan padatan :

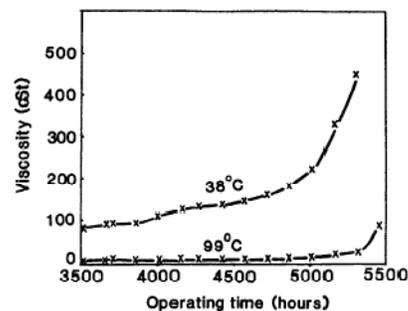


Fig. 12.5 Viscosity increase due to sooty contaminants

Uji lainnya yang bisa dilakukan untuk mengetahui adanya kontaminan padatan di pelumas bekas adalah uji benzen insoluble dan toluen insoluble, dimana dua uji ini lebih baik dari uji pentane insoluble. Tetapi untuk uji benzen insoluble jarang digunakan karena benzen bersifat toxic.

4. Kontaminasi dengan air
Pelumas bisa saja terkontaminasi oleh air dari peristiwa kondensasi sisa hasil pembakaran bahan bakar. Uji lapangan yang umum dilakukan adalah pelumas dipanaskan pada suhu 110 oC dan bila ada gelembung memercik maka dipastikan pelumas terkontaminasi oleh air. Jika dilakukan secara akurat untuk mengetahui jumlah air yang mengkontaminasi pelumas yaitu dengan mengujinya di laboratorium menggunakan metode uji ASTM D 95.

III. MONITORING KEAUSAN MELALUI UJI PELUMAS

Pengembangan terbesar terhadap monitoring pelumas sudah dimulai sejak 1950 yang terkonsentrasi pada *wear debris monitoring* untuk mengecek kondisi peralatan yang dilumasi. Analisis yang paling populer digunakan adalah dengan menggunakan spektrografi atau spectrometric oil analysis. Program yang untuk mengetahui kondisi peralatan yang dilumasi dengan menggunakan spectrographic adalah SOAP (spectrographic oil analysis programme). Saat ini alat uji semakin modern dengan menggunakan rotating disc electrode (rotrode), tetapi yang paling banyak digunakan adalah menggunakan metode inductively coupled plasma (ICP) spectrometer. Berikut adalah limit deteksi untuk alat spectrometric jenis ICP dan rotrode:

Table 12.2 Comparison of rotrode and ICP detection limits

Element	Rotrode detection Limit (p.p.m.)	ICP detection limit, undiluted sample (p.p.m.)
1. Iron	0.50	0.004
2. Silver	0.02	0.004
3. Aluminium	0.43	0.028
4. Chromium	0.72	0.007
5. Copper	0.09	0.003
6. Magnesium	0.01	0.0002
7. Sodium	0.14	0.015
8. Nickel	0.92	0.011
9. Lead	1.05	0.052
10. Silicon	0.38	0.018
11. Tin	1.80	0.055
12. Titanium	0.25	0.002
13. Molybdenum	0.79	0.005
14. Vanadium	0.62	0.003
15. Boron	0.09	0.0005
16. Barium	0.07	0.0005
17. Calcium	0.05	0.0002
18. Zinc	0.57	0.004

Berikut adalah gambar yang menunjukkan perubahan konsentrasi beberapa logam yang terdapat pada pelumas mesin generator setelah beroperasi beberapa jam :

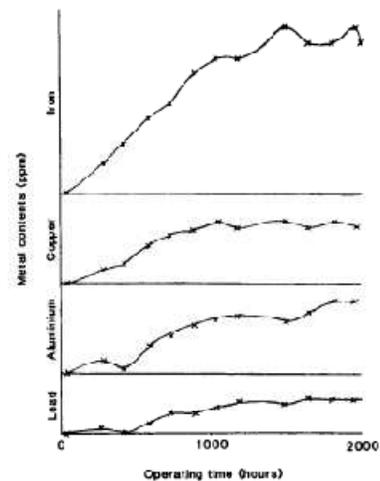


Fig. 12.6 SOAP monitoring of diesel lubricant

Keuntungan dari metode SOAP untuk program wear debris analysis yaitu :

- membutuhkan hanya sedikit contoh
- dapat mengindikasikan beberapa bagian dari suatu sistem yang mengalami gangguan, seperti tabel berikut :

Table 5.4 Sources of materials found in wear debris analysis

Material	Likely wear component or other source	Material	Likely wear component or other source
Aluminium	Light alloy pistons	Lead	Plain bearings
	Aluminium tin crankshaft bearings (Components rubbing on aluminium castings)	Magnesium	Wear of plastic components with talc fillers Seawater intrusion
Antimony	White metal plain bearings	Nickel	Valve seats Alloy steels
Boron	Coolant leaks Can be present as an oil additive	Potassium	Coolant leaks
	Chromium	Piston rings or cylinder liners	Silicon
Valve seats		Silver	Silver-plated bearing surfaces Fretting of silver soldered joints
Cobalt	Valve seats Hard coatings		
	Copper	Copper-lead or bronze bearings	Sodium
Rolling element bearing cages		Tin	Plain bearings
Indium	Crankshaft bearings	Vanadium	Intrusion of heavy fuel oil
	Iron	Gears Shafts	
Cast iron cylinder bores		Zinc	A common oil additive

Kelemahan metode SOAP ini adalah tidak mampu membedakan type/jenis kerusakan (jenis kerusakan seperti korosi atau aus)

IV. BATASAN PENGGUNAAN PELUMAS BEKAS

Beberapa pengujian pelumas secara rutin perlu dilakukan untuk memonitoring kondisi peralatan yang dilumasi. Tetapi batasan kapan pelumas tersebut mulai diganti adalah

dengan mengikuti petunjuk dari manual alat / manual mesin yang kita miliki. Tentunya manual alat / manual mesin hanya menyarankan masa penggantian pelumas untuk pelumas yang direkomendasikan oleh peralatan tersebut. Namun dalam diktat ini akan diberikan suatu tabel yang bersifat *rule of thumb* batas penggunaan pelumas untuk dilakukan penggantian berdasarkan hasil monitoring melalui analisis pelumas di laboratorium :

LABORATORY TESTS FOR USED MINERAL LUBRICATING OILS

Property	Test method ⁽¹⁾	Type of oil	Action level
Viscosity	IP71/ASTM D445	All	15% increase from new oil value (est at -40°C) ⁽¹⁾
Acidity (neutralisation value)	IP1 IP139/ASTM D947 or IP177/ASTM D664	Straight oil	2-3 mg KOH/g ⁽¹⁾
		Turbine oil	1 mg KOH/g ⁽¹⁾
		hd hydraulic oil cp gear oil	Discuss with oil supplier ⁽²⁾
Ash (check for contamination by solids)	IP4 ASTM D893 or IP4	Straight oil	> 0.2% ⁽⁶⁾
		Turbine oil	> 0.2% ⁽⁷⁾
		hd hydraulic oil cp gear oil	
Water level	ASTM D1744	All	300 ppm ⁽⁸⁾
Additive level (checks for additive loss)		Turbine oil	Discuss with oil supplier ⁽⁶⁾
		hd hydraulic oil cp gear oil	
		Engine oil	

DAFTAR PUSTAKA

- British Petroleum Company Limited, "INDUSTRIAL LUBRICATION", Published in 1966, W & J. Jarvis Limited, Imberhorne Lane, East Grinstead
- C. L. Pope and W. T. Everitt, "LUBRICATION OF INDUSTRIAL AND MARINE MACHINERY", 2 nd edition, 1954, Jhon Willey and Sons.
- J. George Wills, " LUBRICATION FUNDAMENTALS ", 1980, Mobil Oil Corporation, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, USA
- O' Connor and Boyd, " STANDARD HANDBOOK OF LUBRICATION ENGINEERING ", 1968, Mc Graw Hill Book Company
- Salvatore J. Rand, " SIGNIFICANCE OF TEST for PETROLEUM PRODUCTS ", 7 th Edition, ASTM International, USA
- Pertamina, " PELUMAS DAN PELUMASAN MESIN.
- Pertamina, " PERTAMINA LUBRICANTS GUIDE"
- Lansdown, A. R., "LUBRICATION AND LUBRICANT SELECTION : A Practical Guide", 3 rd Edition, Professional Engineering Publishing, London, UK
- Neale, M. J., "LUBRICATION AND RELIABILITY HANDBOOK", 2001, Butterworth Heinemann, USA

*) Penulis adalah Widyaiswara Muda Pusdiklat Migas