

Studi Karakteristik Fisika-Kimia pada Uji Jalan Minyak Lumas Mesin Bensin Formula Api SL sebagai Indikator Mutu

Oleh: Setyo Widodo¹⁾, Shinta Sari H.²⁾, Catur Yuliani R.¹⁾, Subiyanto³⁾

(¹⁾Peneliti Pertama, (²⁾Peng analisis Pelumas, (³⁾Peneliti Utama pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”)

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, P.O. Box 1089/JKT, Jakarta Selatan 12230 INDONESIA

Teregistrasi I Tanggal 12 Februari 2009; Diterima setelah perbaikan tanggal 18 Maret 2009

Disetujui terbit tanggal: 16 September 2009

S A R I

Pada aplikasi sesungguhnya kualitas dari suatu minyak lumas dapat diketahui dari uji unjuk kerja. Walaupun demikian, sebagai indikator awal hal ini dapat diketahui dari karakteristik uji fisika-kimianya. Karakteristik tersebut dapat diteliti dengan cara menganalisa contoh minyak lumas yang diambil dari unjuk kerja uji jalan yang dilakukan pada interval jarak (kilometer) atau interval waktu tertentu. Studi tentang karakteristik fisika-kimia dari minyak lumas ini sangat diperlukan untuk mengetahui kualitas dari suatu minyak lumas. Penelitian bertujuan untuk mendapatkan data teknis tentang ketahanan dari suatu minyak lumas dilihat dari uji laboratorium. Dimana minyak lumas yang digunakan dalam studi ini adalah minyak lumas hasil formulasi dengan *grade* SAE 15W40/API SL. Karakteristik minyak lumas dipantau dengan cara menggantinya selama uji jalan berlangsung setiap jarak 2.500 kilometer. Sehingga penurunan kualitas minyak lumas dapat dilihat selama penelitian berlangsung.

Hasil uji menunjukkan bahwa formulasi minyak lumas memiliki sifat karakteristik yang memenuhi standar spesifikasi. Sebagian besar dari *used oil* tersebut masih dalam batas standar yang diijinkan kecuali untuk uji kadar silikon menunjukkan nilai dibawah ambang batas. Meskipun demikian dapat disimpulkan bahwa karakteristik formulasi minyak lumas ini masih menunjukkan unjuk kerja yang baik dalam penggunaannya sampai dengan jarak 15.000 kilometer. Hal tersebut dapat digunakan sebagai rekomendasi *drain interval*, jika formulasi minyak lumas ini diproduksi secara komersial.

Kata kunci : karakteristik fisika-kimia, kualitas minyak lumas, uji jalan.

ABSTRACT

Quality of lubricant can be identified by performance test in real application. However, as an early-indicator, physical-chemical properties can also identify it. These properties could be observed by analyzing lubricant samples taken from performance test by means of road test at certain hours of operation or at distance overtaken (kilometers). Thus, the study about physical-chemical properties of lubricant is very important to find out the quality of lubricant. The researched objective was to get technical data about a lubricant's endurance proven by laboratory test. Lubricant used in this research was a new formulated SAE 15W40/API SL. Lubricant properties were monitored by draining lubricant samples during road-test at every 2.500 km. Hence, the decreasing quality of lubricant during the study could be recorded and monitored.

The result showed that the new formulated lubricant had sufficient properties regarding to specification's standard. Most of test results met the standard requirement for used oil, but one of them, i.e. silicon content, exceeded its warning level. Hence, it can be

concluded that the new formulated lubricant showed a good performance up to 15.000 km. This can be used as recommendation for the drain interval, if the formula is about to be produced commercially.

Keywords: physical-chemical properties, quality of lubricant, road-test

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi mesin dan pertumbuhan populasinya menyebabkan peningkatan kuantitas kebutuhan dan kualitas minyak lumas. Minyak lumas yang dikenal dan digunakan masyarakat merupakan hasil pencampuran (*blending*) minyak lumas dasar dan aditif dengan komposisi tertentu^[1]. Bahan dasar minyak lumas adalah fraksi minyak bumi dengan, atau tanpa aditif yang mempunyai kisaran titik didih antara 380°C – 550°C dan digunakan untuk maksud pelumasan^[2]. Fungsi utama minyak lumas adalah untuk mencegah terjadinya gesekan, keausan dan kerusakan permukaan dalam suatu sistem yang terdiri atas berbagai elemen mesin, seperti gigi dan bantalan^[3]. Fungsi lainnya adalah untuk mencegah terjadinya korosi, mengumpulkan panas, kotoran dan keausan partikel. Minyak lumas juga bisa berfungsi untuk menghantarkan gaya ataupun energi, seperti yang terjadi pada sistem hidrolis. Fungsi minyak lumas tersebut dipenuhi oleh minyak lumas dasar^[4]. Komponen aditif berfungsi untuk membuat minyak lumas mampu bekerja pada temperatur ekstrem yang akan memberikan aspek perlindungan tambahan pada mesin kendaraan.

Kualitas minyak lumas dinyatakan spesifikasi pelumas yang merupakan batasan tingkat mutu pelumas yang diakui secara internasional, misalnya oleh lembaga berwenang seperti *American Petroleum Institute* (API). Selain itu, kualitas minyak lumas juga dapat diketahui dari beberapa klasifikasi kekentalan pelumas yang ditetapkan oleh lembaga berwenang seperti *Society of Automotive Engineers* (SAE) atau *Internal Organization for Standardization* (ISO). Karakteristik fisika-kimia merupakan parameter yang digunakan sebagai indikator untuk menentukan kualitas unjuk kerja minyak^[5], sedangkan kualitas sebenarnya baru dapat diketahui melalui uji unjuk kerjanya pada

mesin/peralatan yang digunakan. Dalam aplikasinya, penggantian minyak lumas pada kendaraan bermotor seringkali dilakukan secara bebas, tidak mengacu pada data teknis yang tepat. Sebagian besar masyarakat melakukan penggantian minyak lumas lebih cepat dari interval waktu yang semestinya sehingga mengarah pada pemborosan penggunaan minyak lumas.

Makalah ini merupakan hasil penelitian uji ketahanan minyak lumas dalam aplikasinya pada kendaraan bermotor melalui uji jalan (*road test*). Minyak lumas yang diuji memiliki tingkat kekentalan dan tingkat mutu SAE 15W40/API SL yang merupakan hasil suatu formulasi. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah karakteristik fisika-kimia minyak lumas baru dan minyak lumas bekas (*used oil*) yang diambil (*sampling*) selama masa uji jalan. Data teknis karakteristik fisika-kimia minyak lumas yang diperoleh diharapkan dapat menjadi pedoman interval waktu penggantian minyak lumas yang tepat.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Uji ketahanan minyak lumas melalui *road test* dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu: i) Penyiapan minyak lumas SAE 15W40 / API SL; ii) Penyiapan kendaraan uji; iii) Pelaksanaan uji jalan dan drain interval; iv) Pengujian karakteristik fisika-kimia minyak lumas; dan v) Analisis dan pembahasan.

Tabel 1
Data Teknis Kendaraan Uji^[6]

Jenis mesin	1 TR-FE (MT)
Tipe mesin	4 IL, 16 katup, DOHC, VVT-i
Isi silinder	1998 cc
Torsi maks	18.6 Nm / 4000 rpm
Sistem bahan bakar	<i>Electronic fuel injection</i> (EFI), <i>knock sensor</i> , <i>electronic gas pedal sensor</i>
Bahan bakar	Bensin
Diameter X langkah	86.0 mm X 86.0 mm
Daya maksimum	136 ps / 5600 rpm

Karakteristik fisika-kimia minyak lumas harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan pada SNI-06-7069.1-2005^[5]. Penyiapan kendaraan uji dimaksudkan untuk mengembalikan mesin kendaraan pada kondisi standar sehingga dapat menekan terjadinya degradasi minyak lumas akibat faktor kondisi mesin yang tidak sesuai.

Kendaraan uji yang digunakan adalah sebuah kendaraan Toyota Kijang Innova tahun 2006 yang menggunakan mesin dengan teknologi 1997 – 2000. Data teknis kendaraan uji ditunjukkan dalam Tabel 1.

Uji jalan raya dilaksanakan dengan menempuh jarak 15.000 km melalui rute yang mewakili operasi normal kendaraan, yaitu rute luar kota, dalam kota, jalan bebas hambatan dan jalan tanjakan. Pengambilan percontohan dan analisis terhadap karakteristik fisika-kimia minyak lumas dilakukan pada setiap jarak tempuh: 0 km, 2.500 km, 5.000 km, 7.500 km, 10.000 km, 12.500 km dan uji terakhir 15.000 km. Pengujian karakteristik fisika-kimia minyak lumas bekas (*used oil*) mengacu pada spesifikasi parameter unjuk kerja minyak lumas tingkat mutu API SL dan ILSAC GF-3 (SNI 06-7069-2005)^[5]. Interpretasi hasil pengujian dilakukan dengan analisis deskriptif.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis karakteristik fisika-kimia dimaksudkan untuk mengetahui kualitas minyak lumas hasil formulasi. Analisis dilakukan terhadap minyak lumas baru dan bekas (*used oil*) yang diambil selama masa uji jalan untuk mengetahui perubahan karakteristik fisika kimia yang terjadi^[7]. Hasil pengujian karakteristik fisika-kimia percontohan (Tabel 2), menunjukkan bahwa minyak lumas baru SAE 15W40 / API SL tersebut telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan sehingga siap untuk digunakan dalam uji jalan.

Analisis karakteristik fisika-kimia dilakukan untuk mengetahui degradasi minyak lumas selama uji jalan, meliputi beberapa parameter kunci seperti viskositas

Tabel 2
Karakteristik minyak lumas formula SAE 15W40 API SL

Karakteristik	SNI-06-7069.1-2005 ^[5]	Formula A
Vis.kin. 100C (cSt)	12.5 – 16.3	15.12
Visk. indeks, min	125	133
CCS @ -20°C (cP), maks	7000	4673
TBN (mg-KOH/g), min	5.0	8.8468
PP (°C)	3 (Max < T uji)	-26.50
FP-COC (°C), min	200	238.00
Foaming T&S Sq.1 (mL), max	10/0	nil/nil
Sq.2 (mL)	50/0	nil/nil
Sq.3 (mL)	10/0	nil/nil
Sq.4 (mL)	100/0	nil/nil
Sulfated ash, %-wt, min	0.6	0.99
TBS, cP, min	3.7	4.36
Sifat penguapan noack, %-wt	15	6.15

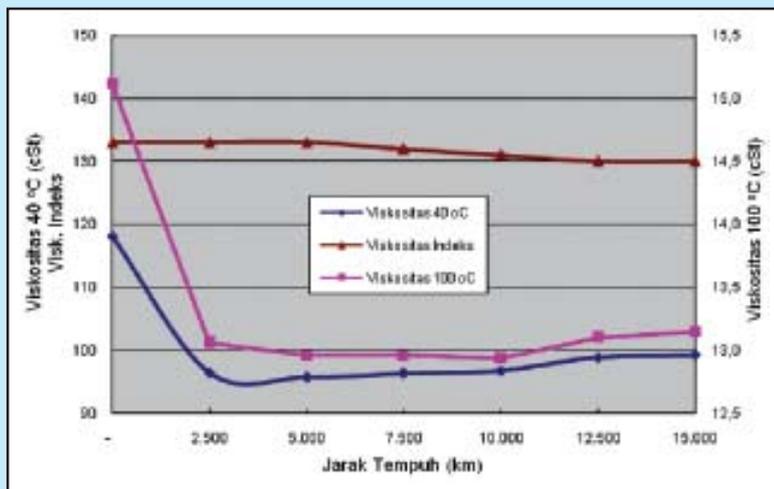
kinematik, indeks viskositas, bilangan basa, bilangan asam, pH, *flash point*, kandungan logam, material *insoluble* dan analisis konsumsi minyak lumas (Tabel 3).

Analisis Viskositas

Viskositas kinematik menjadi salah satu parameter kunci untuk mengetahui kualitas minyak lumas. Kondisi operasi seperti temperatur, tekanan, gaya *shear* dan kontaminasi akan sangat mempengaruhi nilai viskositasnya. Perubahan nilai viskositas selama penggunaan merupakan fenomena yang selalu terjadi, namun demikian harus dapat dipertahankan tetap pada rentang nilai spesifikasi yang ditetapkan, “*stay in grade*”. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai viskositas kinematik minyak lumas hingga akhir uji jalan masih memenuhi spesifikasi produk yang ditetapkan, yaitu 12.5 - 16.3 cSt (Tabel 3). Fenomena ini juga didukung oleh data hasil uji ketahanan minyak lumas terhadap gaya *shear*; di mana viskositas minyak lumas mengalami degradasi dari nilai awal 15,12 cSt menjadi 13,31 cSt, atau terdegradasi sebesar 11,97%. Indeks viskositas yang merupakan suatu indikator ketahanan minyak lumas terhadap perubahan temperatur juga menunjukkan nilai yang memenuhi batasan minimal yang dipersyaratkan, yaitu 125.

Dalam aplikasinya, dua faktor utama yang menjadi penyebab penurunan nilai viskositas adalah terjadinya *fuel diluent* dan degradasi aditif polimer karena adanya *shear*. Gaya *shear* dari pompa oli, jarak renggang bantalan mesin yang kecil serta posisi letak *crankshaft* yang tercelup dalam karter minyak lumas sangat berperan pada degradasi minyak lumas. Perubahan viskositas akibat kontaminasi bahan bakar dapat diamati dari penurunan nilai karakteristik *flash point* (Tabel 3) yang terjadi ($\pm 1.32\%$). Berdasarkan analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa penurunan viskositas lebih disebabkan oleh degradasi aditif polimer. Beberapa jenis aditif yang mengandung polimer antara lain aditif *viscosity index improver*, *anti foam*, *dispersant* dan *pour point depressant*.

Peningkatan nilai viskositas kinematik yang mulai terdeteksi pada 12.500 km (Gambar 1) merupakan hal yang umum terjadi pada penggunaan minyak lumas. Faktor penyebabnya antara lain formasi



Gambar 1
Karakteristik viskositas minyak lumas

Tabel 3
Hasil analisis karakteristik fisika-kimia dalam uji jalan

No.	Parameter	Metode Uji ^[8]	Unit	Hasil Analisis Used Oil					
				KI-1	KI-2	KI-3	KI-4	KI-5	KI-6
				2500 km	5000 km	7500 km	10000 km	12500 km	15000 km
1	Visk. kinematik 40°C	ASTM D 445	cSt	96.45	95.7	96.3	96.71	98.86	99.24
2	Visk. kinematik 100°C	ASTM D 445	cSt	13.06	12.96	12.96	12.94	13.1	13.15
3	Viskositas Indeks	ASTM D 2270	-	133	133	132	131	130	130
4	Flash point	ASTM D 92	°C	236	235	234	234	234	233
5	TBN	ASTM D 2896	mgKOH/g	8.8695	8.4468	8.0269	7.4375	7.0288	6.4389
6	TAN	ASTM D 664	mgKOH/g	0.7053	0.7739	1.0015	1.1768	1.4682	2.6200
7	Metal content :	AAS	ppm						
	Ca			2,098	2,085	2,076	2,052	2,046	2,035
	Mg			9.59	8.87	10.26	9.98	10.08	9.89
	Zn			1134.69	1042.15	1199.99	1161.03	1169.42	1171.05
	Fe			7.9	9.77	13.51	15.19	17.41	17.86
	Al			3.39	4.42	5.01	5.83	7.12	7.24
	Cu			4.25	6.59	10.32	11.75	12.52	12.89
	Cr			0.82	0.87	0.92	0.99	1.12	1.22
	Si	107.33	104.43	102.84	99.36	106.49	105.64		
8	Insoluble - pentan	Centrifuge	%-wt	0.032	0.038	0.047	0.069	0.075	0.081
9	Fuel Diluent	FP as Indicator	%	0.8	1.3	1.7	1.7	1.7	2.1
10	Wear particle count /WPC	Ferograph	-	8	12.9	31.5	17.1	21	24

sludge karena degradasi minyak lumas dan kontaminasi partikel. Namun demikian, secara keseluruhan nilai viskositas masih dalam rentang spesifikasi yang ditetapkan “*stay in grade*”.

Analisis Bilangan Basa dan Bilangan Asam

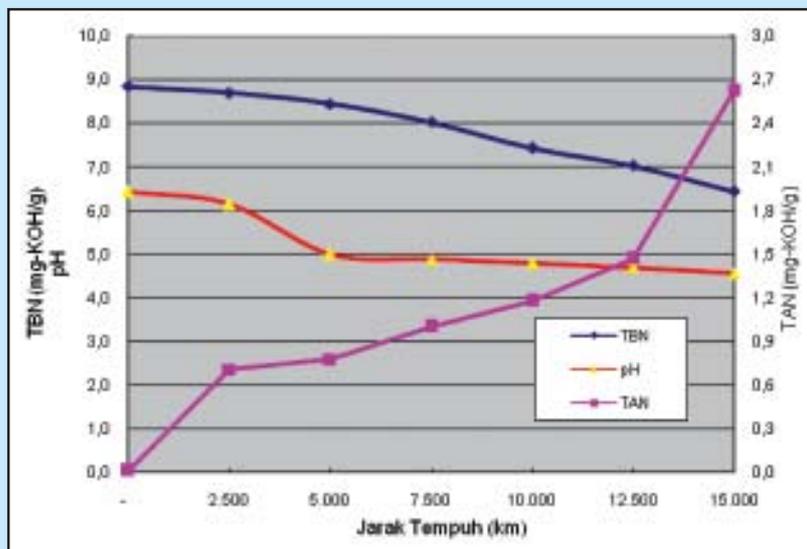
Bilangan Basa Total (TBN) merupakan karakteristik yang menunjukkan kemampuan deterjensi, dispersansi dan netralisasi terhadap asam hasil oksidasi minyak lumas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai bilangan basa total terus mengalami penurunan selama masa uji jalan (Tabel 3). Penurunan nilai TBN yang ditunjukkan pada Gambar 2, merupakan indikator telah bekerjanya aditif TBN dalam menetralkan asam-asam yang terbentuk dalam minyak lumas. Peningkatan keasaman yang mengindikasikan bahwa pembentukan asam terus terjadi selama penggunaan terlihat dari peningkatan bilangan asam (TAN) dan penurunan pH minyak lumas selama uji jalan.

Kandungan Insoluble

Kandungan *insoluble* dalam minyak lumas selama penggunaan merupakan salah satu indikator terbentuknya fase tidak larut yang mengandung material kontaminan dalam minyak. Nilai kandungan *insoluble* yang tinggi sangat dihindari dalam aplikasi minyak lumas karena akan mengganggu kinerja pelumasan. Hasil pengujian menunjukkan nilai *insoluble* yang sangat kecil (<0.081%-wt) sehingga minyak lumas tersebut masih aman digunakan (Tabel 3).

Konsumsi Minyak

Konsumsi minyak lumas merupakan parameter yang menunjukkan berkurangnya kuantitas minyak



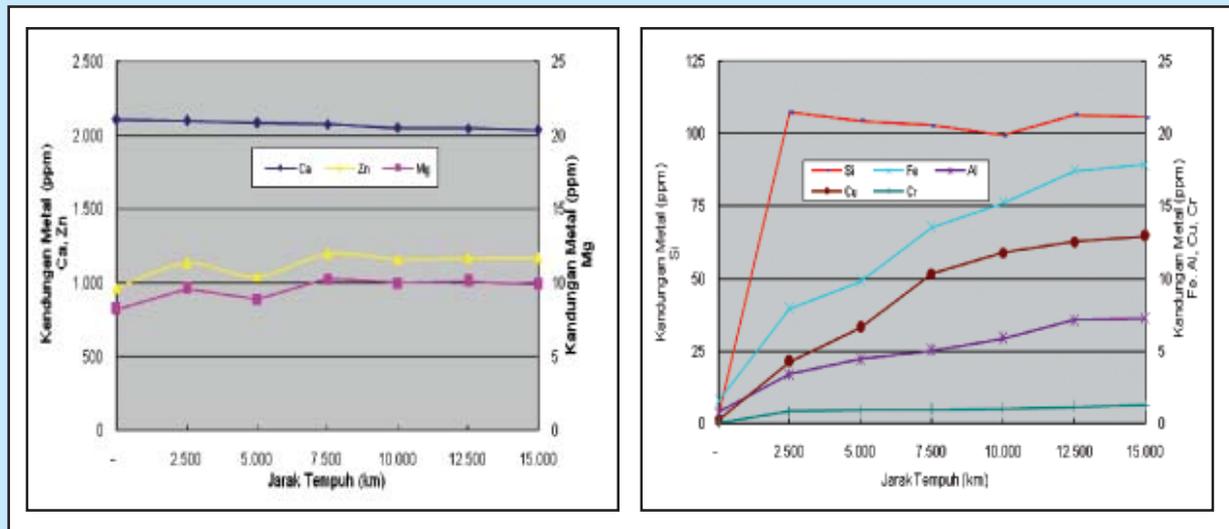
Gambar 2
Karakteristik TBN, TAN dan pH minyak lumas.

Tabel 4
Jenis logam dalam minyak lumas menurut sumber asalnya^[9]

No	Sumber keausan	Unsur logam
1.	Piston	Aluminium (Al), copper (Cu) dan iron (Fe)
2.	Ring piston	Chromium (Cr), Nickel (Ni), Molybdenum (Mo)
3.	Bantalan	Aluminium (Al), Antimon (Sb), Cadmium (Cd), Cobal (Co), Copper (Cu), Lead (Pb), Magnesium (Mg), Silver (Ag), Tin (Sn), Zinc (Zn)
4.	Silinder liner	Chromium (Cr), Iron (Fe)

Sumber : www.geocities.com/fathalaz/biodiesel/waste-durability/jme_durability.html⁷

lumas selama penggunaan operasional mesin kendaraan. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan kuantitas minyak lumas mulai terlihat pada jarak tempuh 12.500 km dengan jumlah kehilangan minyak lumas yang terjadi mencapai 90 mL (1,6%-vol). Hal ini dapat terjadi karena 3 hal, yaitu (i) kebocoran minyak lumas melalui *packing*, (ii) penguapan minyak lumas, dan (iii) terbakar dalam ruang bakar akibat kebocoran pada celah ring piston. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tidak terjadi kebocoran minyak lumas baik melalui *packing* maupun celah ring piston. Berdasarkan pengujian



Gambar 3
Kandungan logam aditif dan logam keausan dalam minyak lumas

karakteristik penguapan (Noack Evapotaion) diketahui bahwa minyak lumas dapat mengalami penguapan sebesar 6.15%-wt (Tabel 2), sehingga dapat disimpulkan bahwa kehilangan minyak lumas lebih disebabkan oleh terjadinya penguapan.

Kandungan Logam

Kandungan logam merupakan salah satu indikator terjadinya keausan dalam komponen mesin kendaraan bermotor. Secara umum, kandungan logam dapat digolongkan menjadi dua kategori, yaitu kandungan logam aditif dan kandungan logam keausan. Analisis terhadap kandungan logam dapat digunakan sebagai panduan dalam menentukan titik keausan yang terjadi dan sumber kontaminasi dalam minyak lumas, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Kandungan logam yang berasal dari aditif antara lain Ca, Ba, Mg, dan Zn. Secara umum dapat dilihat bahwa kandungan logam yang berasal dari aditif menunjukkan nilai yang relatif konstan (Tabel 3). Hal ini dikarenakan logam tersebut, hanya berubah menjadi senyawa kimia yang berbeda sesuai fungsi dari aditif dalam minyak lumas. Penambahan kandungan logam Mg dan Zn diduga karena adanya keausan bantalan walaupun dalam jumlah yang sangat

Tabel 5
Warning level kandungan logam minyak lumas^[10]

Jenis logam	Nilai batas (ppm)
	(warning level)
Fe	> 100
Al	> 30
Cu	> 40
Cr	> 20
Si	> 30 (lebih tinggi jika mesin baru)

Sumber : www.ccitonline.com/mekanikal/tiki-print_article.php?articleId=17⁸

kecil (Gambar 3).

Logam keausan pada umumnya berasal bantalan (*bearing*), *ring*, silinder piston, bagian-bagian mesin yang bergerak lainnya yang terbuat dari besi tuang. Kandungan logam keausan yang mulai terdeteksi setelah mesin dioperasikan di antaranya tembaga (Cu), besi (Fe), kromium (Cr), aluminium (Al), silikon (Si), molibdenum (Mo), timbel (Pb), dll (Gambar 3) Selain itu, kandungan Mg, Na, Si juga dapat menjadi indikator adanya kontaminasi bahan bakar oleh air sedangkan Si dan Ca merupakan hasil kontaminasi bahan bakar oleh udara/debu. Peningkatan jumlah logam dan merupakan indikasi telah terjadinya keausan pada komponen mesin kendaraan walaupun

masih dalam ambang batas nilai kandungan logam seperti ditunjukkan pada Tabel 5. Peningkatan logam Si yang signifikan terjadi karena masuknya kotoran yang terbawa bersama udara.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data karakteristik fisika-kimia minyak lumas selama pelaksanaan studi *drain interval*, dapat disimpulkan bahwa minyak lumas SAE 15W40 API SL hasil formulasi sudah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam SNI 06-7069-2005. Hal ini terlihat dari hasil analisis karakteristik viskositas, nilai bilangan basa (TBN), nilai bilangan asam (TAN), kandungan *insoluble*, konsumsi minyak, dan kandungan logam dalam *used oil*. Formula minyak lumas SAE 15W40 API SL dari hasil uji karakteristik fisika-kimia selama uji jalan terbukti mampu memberikan kinerja pelumasan yang baik hingga mencapai jarak tempuh 15.000 km. Hasil ini dapat dijadikan rekomendasi kapan waktu penggantian (*drain interval*) yang tepat bagi konsumen jika formula tersebut diproduksi secara komersial. Namun demikian, hasil analisis terhadap karakteristik fisika kimia minyak lumas, hanya merupakan indikator awal untuk mengetahui mutu minyak lumas. Mutu unjuk kerja sebenarnya baru dapat diketahui melalui analisis rating terhadap komponen mesin kendaraan bermotor.

KEPUSTAKAAN

1. Rulianto, D., Setyo Widodo, Albert Mantong, 2005, *Penyiapan Rancangan Formula Minyak*

Lumas, PPPTMBG "Lemigas", Jakarta, 43pp.

2. Hepple, P., 1967, *The Joint Problems of The Oil and Water Industries*. Proceedings of a Symposium held in Brighton, January 18-20 1967. The Institute of Petroleum, London.
3. Fein, Richard S., 1992, *Liquid Lubricants*, ASM Handbook vol.18 Friction, Lube and Wear Test, ASM International, USA, p:82-87.
4. Sequeira, Avilino J, 1994, *Lubricant Base Oil and Wax Processing.*, Texaco, Inc. Port Arthur, Texas, 302pp.
5. BSN, 2005, *Klasifikasi dan Spesifikasi – Pelumas- SNI 06-7069-2005*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
6. Toyota Astra Motor PT, 2006, *Pedoman Pemilik Kijang Innova*.
7. Karina, R.M., 2002, *Penelitian Drain Interval Minyak Lumas Monograde melalui Uji Jalan pada Kendaraan Mesin Bensin*, Lembaran Publikasi Lemigas Vol. 36 No. 3/2002, Lemigas, Jakarta, p:20-25
8. ____, 2007, *Annual Book of ASTM Standard Vol. 05*, ASTM International.
9. Geocities, 2008, *Biodiesel (Waste-Durability)*, <http://www.geocities.com/> diakses tanggal 1 November 2008
10. Ccitonline, 2008, *Artikel Mekanikal*, <http://www.ccitonline.com/> diakses tanggal 3 Agustus 2008. ✓