

## EMISI SMOKE DAN KEAUSAN LOGAM PADA PELUMAS KENDARAAN TRUK BERBAHAN BAKAR BIODIESEL DUAPULUH PERSEN

Ihwan Haryono<sup>1</sup>, I.G.A. Uttariyani<sup>2</sup>, Siti Yubaidah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Balai Teknologi Termodinamika, Motor dan Propulsi (BT2MP)

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Gd. 230 Kawasan PUSPIPTEK, Setu, Tangerang Selatan 15314

Ph. 021\_7560539 Fax. 021\_7560538

E-mail: [ihwan.haryono@bppt.go.id](mailto:ihwan.haryono@bppt.go.id)

### Abstrak

*Untuk mendukung implementasi pemakaian bahan bakar biodiesel dua puluh persen, pemerintah melalui kementerian ESDM bekerjasama dengan BT2MP telah melakukan uji jalan dan road show sejauh 40.000 kilometer lintas Jawa menggunakan kendaraan truk (mobil box). Tujuan dari uji jalan ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan B20 terhadap kendaraan sekaligus sosialisai pemakaian B20 yang baru saja dipasarkan di masyarakat luas. Selama uji jalan dan road show, kendaraan uji dilakukan uji kepekatan asap atau opasitas secara periodik tiap 10.000 kilometer dan di akhir pengujian dilakukan uji pelumas bekas (used oil analysis) untuk mengetahui keausan logam, serta inspeksi beberapa komponen engine yang berkaitan dengan pemakaian bahan bakar biodiesel 20%. Hasil pengujian menunjukkan tidak terjadi perubahan yang signifikan pada emisi asap (opasitas) dan keausan logam pada pelumas bekas masih didalam toleransi yang diijinkan. Dari hasil inspeksi visual beberapa komponen engine menunjukkan bahwa tidak terjadi pembentukan deposit karbon yang berlebihan dan tidak ditemukan keausan yang berarti. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan bakar biodiesel duapuluh persen (B20) menghasilkan emisi asap di bawah batas yang ditentukan pemerintah dan tidak berpengaruh negatif secara signifikan pada kondisi komponen engine.*

**Kata kunci:** analisa pelumas; biodiesel; emisi; keausan logam; opasitas (smoke)

### Pendahuluan

Untuk mengatasi ketergantungan terhadap solar impor dan untuk ketahanan energi nasional, maka arah kebijakan energi nasional adalah mengurangi ketergantungan Indonesia pada energi berbasis sumber daya fosil dan beralih ke energi terbarukan. Energi dari fosil semakin menipis, sementara kebutuhan energi nasional terus tumbuh sekitar 7% hingga 8% per tahun. Jika tidak ada alternatif pengalihan maka sumber energi minyak bumi semakin cepat habis. Disisi lain pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia masih sangat kecil, hanya sekitar 6% dari total kebutuhan, padahal potensinya sangat besar (Press release, 2016).

Pada tahun 2014, telah dilakukan uji ketahanan kinerja mesin terhadap 6 buah kendaraan penumpang melalui uji jalan dengan jarak tempuh 40.000 km dengan bahan bakar solar dan biodiesel 20%. Hasilnya cukup memuaskan, baik kendaraan yang menggunakan B0 (solar) maupun yang menggunakan B20 tidak ada keluhan. Kinerja semua kendaraan uji, baik itu berbahan bakar B20 maupun B0, tidak ada perubahan signifikan. (Rahmadi dkk, 2015).

Uji jalan dan road show B20 tahun 2015 merupakan kegiatan sosialisasi kesiapan kendaraan bermotor bermesin diesel terhadap pelaksanaan mandatori B20, yaitu implementasi B20 yang ditetapkan melalui menteri ESDM 1 Januari 2016 perihal penggunaan bahan bakar nabati (BBN) biodiesel sekitar 20% berbasis crude palm oil (CPO), Fatty Acid Methyl Ester (FAME). Pemakaian B20 secara bertahap meningkat sampai dengan 30% pada tahun 2025 (Permen ESDM, 2013).

Makalah ini menyampaikan hasil uji emisi opasitas terhadap salah satu kendaraan uji selama uji jalan dan road show tersebut setelah menempuh rute lintas Jawa sejauh 40.000 kilometer dan analisa kondisi pelumas engine sehabis digunakan, serta inspeksi visual kondisi komponen engine dari kendaraan yang digunakan.

**Kajian Pustaka**

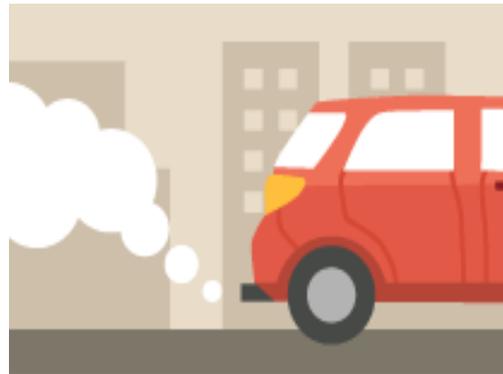
**Emisi gas buang mesin diesel**

Emisi gas buang mesin diesel berisi sebuah campuran gas yang kompleks, uap, cairan aerosol dan bahan partikulat. Material-material ini merupakan produk dari pembakaran. Kuantitas dan komposisi emisi gas buang mesin diesel terutama tergantung dari:

- Tipe engine, misal turbocharged atau non-turbocharged
- Apakah engine dilakukan perawatan secara teratur dan disetel ulang
- Bahan bakar yang digunakan
- Beban engine
- Temperatur engine (Anonim, 2012).

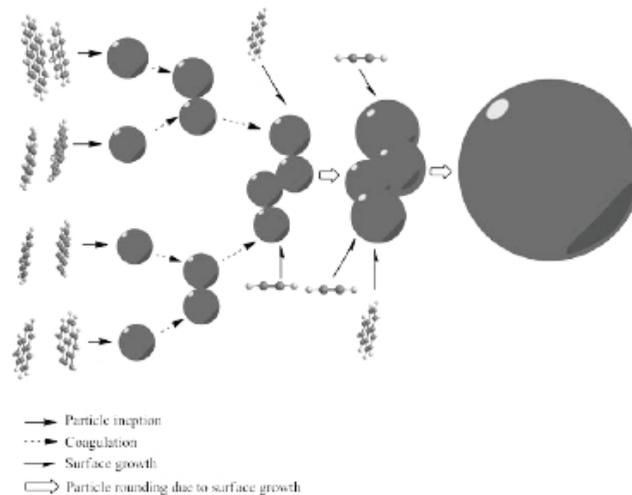
Emisi gas buang dari mesin diesel umumnya lebih kelihatan dibandingkan dengan yang berasal dari mesin berbahan bakar gasolin. Hal itu dikarenakan engine diesel sepuluh kali lebih banyak mengandung jelaga (soot). Secara umum, mesin diesel menghasilkan karbon monoksida lebih rendah dibandingkan dengan mesin berbahan bakar gasolin, tetapi lebih banyak mengandung oksida nitrogen, oksida sulphur, aldehydes, dan partikulat (*particulate matter*). Beberapa material lain yang dikeluarkan dari mesin diesel dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 1.

- Carbon (soot)
- Water (H<sub>2</sub>O)
- Carbon monoxide (CO)
- Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)
- Nitrogen (N<sub>2</sub>)
- Oxides of nitrogen (NO<sub>x</sub>)
- Oxides of sulphur, eg (SO<sub>2</sub>)
- Alcohols
- Aldehydes
- Ketones
- Various hydrocarbons (HC)
- Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)



Gambar 1. Unsur kimia utama dari emisi gas buang mesin diesel

Partikel jelaga di dalam emisi gas buang mesin diesel mempunyai ratusan unsur organik yang terserap pada permukaannya, beberapa diantaranya mempunyai potensi bahaya pada kesehatan dibandingkan dengan yang lainnya. Kandungan jelaga (soot) di dalam emisi gas buang mesin diesel bervariasi dari 60% hingga 80% tergantung dari bahan bakar yang digunakan, dan tipe serta kondisi engine.



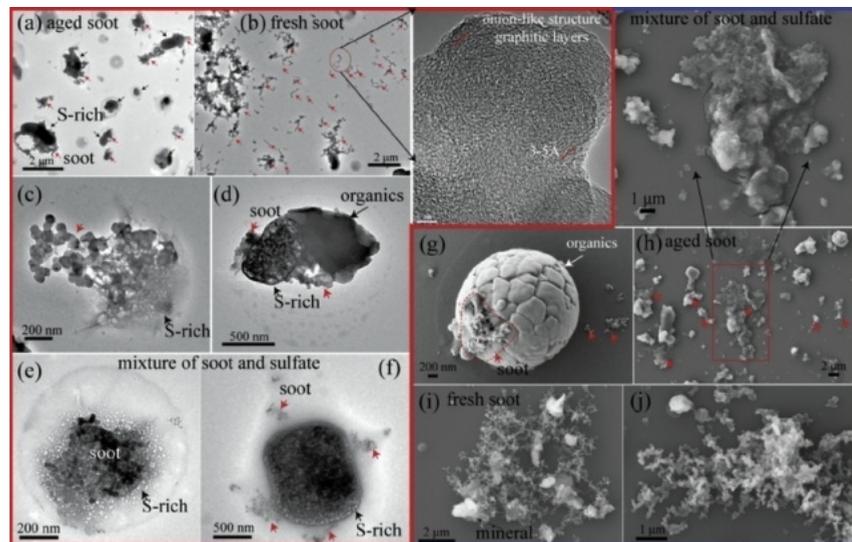
Gambar 2. Proses pertumbuhan soot

Pada permulaan studi mengenai soot, metode yang digunakan masih berupa *Smoke Point* yaitu tinggi api dimana soot dapat diamati dengan menggunakan mata telanjang. Studi ini menghubungkan struktur molekul hidrokarbon dengan titik smoke. Hasilnya mengindikasikan bahwa hidrokarbon yang menghasilkan soot mengalami peningkatan secara berurutan sebagai berikut:

paraffins < isoparaffins < mono-olefins < naphthenes < alkynes < aromatics

Secara umum dapat dikatakan semakin kompak struktur molekul dengan nomor atom karbon yang sama akan mempunyai kecenderungan membentuk soot lebih kuat. Pemahaman sekarang mengenai pertumbuhan soot ditunjukkan dalam Gambar 2 dan dijelaskan secara rinci dalam rujukan (Kittelson dan Kraft, 2014).

Partikel soot adalah seperti kumpulan atau gumpalan yang terbuat dari roda karbon dengan diameter 10 s/d 100 nm. Morphologi unik campuran soot ditunjukkan pada Gambar 3. Soot di dalam troposphere memberikan kontribusi terbesar kedua pada pemanasan global setelah CO<sub>2</sub> (Li dkk, 2015).



Gambar 3. Morphologi dan komposisi dari partikel soot di Asia timur

**Smoke (asap).** Smoke adalah istilah umum yang digunakan untuk menggambarkan awan, kabur, situasi yang dihasilkan dari proses pembakaran material organik. Smoke berisi padatan atau cairan atau butiran cair yang amat kecil sehingga cenderung tertahan di udara untuk jangka waktu tertentu, bervariasi dari beberapa detik sampai tahunan. Walaupun smoke sering terlihat oleh mata manusia, tetapi sebagian besar tidak. Ukuran dan isi dari partikel atau butiran cair penyusun smoke sangat mempengaruhi kemampuan kita untuk melihat.

**Opasitas.** Opasitas adalah sebuah ukuran dari pengurangan atau hilangnya sinar yang melalui smoke di dalam ruang kolom yang biasanya dinyatakan dalam persentase. Sebuah opasitas 10% berarti 90% dari sumber cahaya masih ada dan 10% hilang setelah melalui ruang pengukuran. Istilah 90% (0,9), sisa cahaya, dinyatakan sebagai Transmittan.

Angka smoke (*smoke number*) adalah sebuah istilah yang berhubungan dengan smoke meter (*aetholometers*) yang mengukur sifat optik dari smoke pada bahan kertas saring. Berbagai skala nilai smoke sudah dikembangkan disesuaikan dengan peralatan ukur yang digunakan dengan sejumlah asumsi soot yang sedang diukur. Asumsi yang mendasari laporan adalah soot merupakan unsur paling banyak atau yang terpenting dari asap yang akan diukur. Skala laporan yang umum termasuk *Hartridge Smoke Unit (HSU)*, *Bosch Smoke Unit (BSU)*, *Filter Smoke Number (FSN)*, dan lain-lain (Anonim, 2010).

#### Analisa pelumas habis pakai (*used oil analysis*)

Analisa pelumas habis pakai dibagi dalam tiga katagori:

1. Analisa sifat pelumas termasuk bahan dasar dan aditifnya,
2. Analisa kontaminan,
3. Analisa sisa keausan dari mesin (Anonim, 2011).

### Viskositas

Viskositas adalah sifat resistansi internal pelumas untuk mengalir pada temperatur dan dalam waktu tertentu, dan dianggap sebagai sifat fisik yang paling penting dari pelumas. Perubahan viskositas menunjukkan pemakaian yang tidak benar, pengenceran, kontaminasi atau kerusakan pelumas dalam pemakaian. Viskositas yang paling umumnya ditentukan dengan metode kinematik dan hasilnya dilaporkan dalam centistokes/cSt (1 Centistoke (cSt) = 1 milimeter persegi per detik). Kelas pelumas mesin juga dapat dinyatakan sebagai SAE Grade.

### Base Number (BN, “TBN”)

Merupakan ukuran total kandungan alkali hadir dalam pelumas. Banyak aditif yang digunakan dalam pelumas mesin mengandung material alkaline (*basic*) yang bertujuan untuk menetralkan asam yang terbentuk selama proses penuaan dan pembakaran bahan bakar. Sebuah BN relatif tinggi dikaitkan dengan peningkatan perlindungan terhadap korosi ring dan liner silinder, dan kerusakan untuk logam "kuning", seperti tembaga dan perunggu. Penurunan BN yang tidak normal menunjukkan kapasitas menetralkan asam berkurang dan atau paket aditif habis. Pengujian pertama menentukan jumlah asam yang diperlukan untuk menetralkan isi basa sampel. Hasil akhir kemudian dinyatakan sebagai jumlah yang setara dengan alkali kalium hidroksida per gram sampel.

Tabel 1. Kandungan logam dan kaitannya (Anonim, 2011 dan Fitch, 2011)

LOGAM	SUMBER
Aluminium, Al	Piston atau crankcase engine
Barium, Ba	Detergent, inhibitor korosi dan karat (rust)
Calcium, Ca	Aditif detergent/dispersant, kontaminan air, kontaminasi udara
Chromium, Cr	Piston, liner silinder, katup pembuangan, kebocoran pendingin dari inhibitor korosi
Tembaga, Cu	Bearing, bushing, pendingin oli, aditif
Besi, Fe	Keausan umum, liner silinder, katup, rocker arm, bearing, crank shaft, cam shaft, pin
Timbal, Pb	Bearing
Magnesium, Mg	Detergent, dispersant, peningkat alkalinity
Molibdenum, Mo	Ring piston, aditif tekanan ekstrim, kontaminasi pendingin
Nickel, Ni	Campuran logam bearing, valve train
Phosporus, P	Aditif anti-wear
Potassium, K	Kebocoran pendingin, kontaminasi udara
Silikon, Si	Debu udara, sil, kebocoran pendingin, aditif
Sodium, Na	Kebocoran pendingin, aditif
Tin, Sn	Logam bearing, piston, ring piston, sil, bushing, thrust washer
Zink, Zn	Aditif anti-wear, anti oksidan, inhibitor korosi

Pengujian kandungan logam digunakan untuk menafsirkan kondisi komponen engine. Adanya unsur-unsur tertentu atau kombinasi dari unsur-unsur menunjukkan masalah-masalah yang ada. Berbagai jenis logam dan sumber dari mana asalnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tujuan dari analisa pemumas habis pakai adalah untuk memantau kelayakan pelumas, memantau kondisi mesin yang sedang dilumasi dan mengukur tingkat kontaminannya.

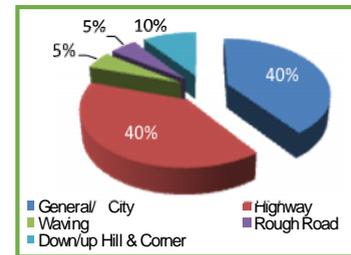
- Tingkat pengurangan ZDDP (*zinc dialkyl dithiophosphates*) yang tinggi menunjukkan bahwa aditif sedang banyak digunakan.
- Perubahan viskositas (resistensi fluida untuk mengalir) dari kondisi baru, dapat menunjukkan servis yang tidak benar, pengenceran, kontaminasi atau kerusakan pada saat digunakan.
- Tin, timbal, dan tembaga dapat menunjukkan kerusakan bantalan (*bearing*)
- Kombinasi dari besi (Iron) dengan krom biasanya akan menunjukkan keausan liner dan ring.
- Adanya aluminium dapat menunjukkan keausan piston.
- Silicon biasanya dapat ditelusuri ke sistem pemasukan udara yang rusak yang memungkinkan udara mengandung kotoran atau pasir ke dalam ruang pembakaran.
- Boron dan natrium merupakan komponen dari etilena glikol dan biasanya menunjukkan aditif antibeku dalam minyak, yang dihasilkan dari kebocoran tutup gasket pendingin oil, atau blok yang retak.

### Metode Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan sebuah kendaraan angkut barang (truk) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Kendaraan tersebut dijalankan menggunakan bahan bakar Biodiesel, B20, dengan kualitas Standar Nasional Indonesia untuk B0 (Kep. Dirjen Migas, 2013) dan B100 (SNI, 2015) sebagai bahan campuran biodiesel. Pelumas engine kendaraan yang digunakan adalah sebagaimana yang direkomendasikan pabrik pembuat mobil dengan spesifikasi API SAE 15W-40.



Gambar 4. Kendaraan uji



Gambar 5. Kondisi rute uji jalan

Sebelum dilakukan pengujian jalan, komponen-komponen kritis engine yang berhubungan dengan sistem pembakaran diganti atau dibersihkan terlebih dahulu sehingga seperti komponen baru. Demikian juga kondisi awal pengujian, engine disetel ulang sebagaimana kondisi engine baru.

Setelah engine kendaraan dikondisi ulang, kendaraan dilakukan penggantian oli dan *run-in* untuk memastikan tidak ada masalah terhadap mesin dan dilakukan uji emisi awal. Selanjutnya kendaraan diuji dengan melakukan perjalanan (*road test*) pada berbagai kondisi jalan yang berbeda sampai menempuh jarak lebih dari 32.000 kilometer. Rute uji jalan dimulai dari Serpong (BT2MP) – Bogor (Puncak) – Bandung (Lembang) – Subang – Cikampek dan kembali ke Serpong. Rute uji jalan dengan berbagai variasi kondisi sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5.

Setelah menempuh jarak lebih dari 32.000 kilometer, kendaraan uji menempuh jalur utama Jawa dalam rangka kegiatan sosialisasi pemanfaatan B20 (*road show*) di berbagai kota yang disinggahi. Adapun jalur dan kota yang ditempuh adalah Jakarta-Tegal-Semarang-Surabaya-Jember-Malang-Solo-Jogjakarta-Dieng-Bandung-Serang-Merak-Jakarta. Di berbagai kota tersebut, tim uji melakukan serangkaian kegiatan sosialisasi berupa seminar atau pertemuan umum lainnya.

Selama pengujian jalan (*road test*) dan *road show*, kendaraan dilakukan perawatan (*service*) dan penggantian pelumas sesuai dengan yang direkomendasikan pabrikan tiap 10.000 km. Pengujian emisi dilakukan secara periodik setiap jarak tempuh 10.000 kilometer sebelum *service* dan penggantian pelumas di ruang uji kendaraan (*vehicle test cell*) Balai Teknologi Termodinamika, Motor dan Propulsi.

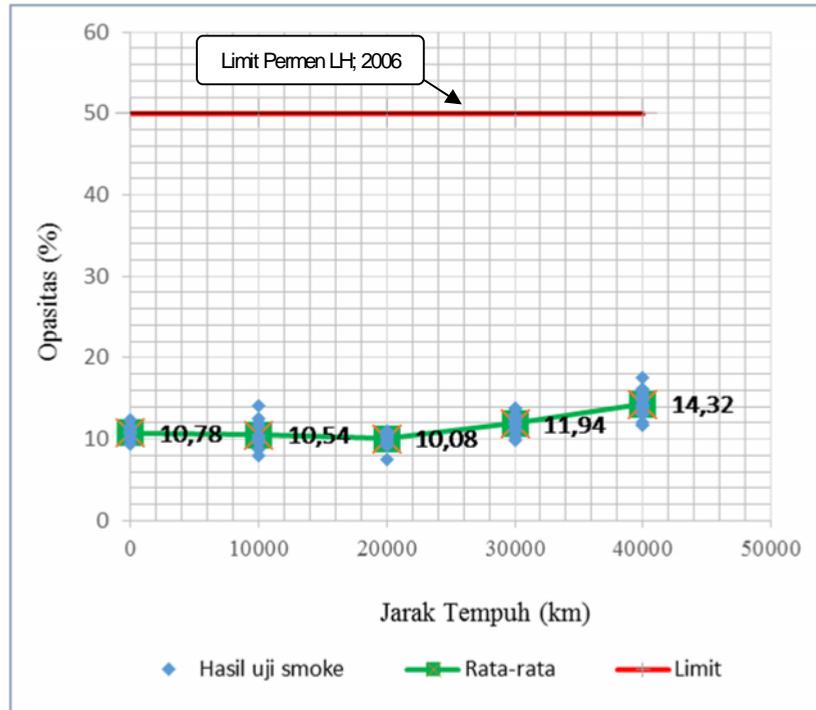
Sampling pelumas dilakukan sehabis kendaraan menempuh jarak 40.000 kilometer saat dilakukan pembongkaran untuk melihat kondisi komponennya. Dengan demikian umur pemakaian pelumas adalah 10.000 kilometer jarak tempuh kendaraan. Sampel pelumas selanjutnya dikirim ke laboratorium analisa pelumas (SOS, PT. Trakindo) yang telah terakreditasi. Parameter yang diuji adalah parameter kondisi degradasi pelumas (viskositas dan TBN), penurunan kandungan aditif (*additives depletion*) dan kandungan keausan logam (*metal wear*).

### Hasil Pengujian dan Pembahasan

Parameter uji yang diambil adalah emisi kepekatan asapnya (opasitas). Pengujian kendaraan dengan metode *free* akselerasi menggunakan alat Smoke Meter Tecnotest dengan sistem diagnose Stargas 898. Adapun hasil uji opasitas kendaraan uji tersebut ditunjukkan dalam Gambar 6.

Grafik emisi kepekatan asap (opasitas) menunjukkan angka rata-rata 10,78% HSU pada awal uji jalan dan mengalami peningkatan menjadi 12,41 % HSU pada kilometer 10.000 yang selanjutnya menurun lagi menjadi 10,44 % HSU pada kilometer 20.000. Pada kilometer 30.000 opasitas menunjukkan angka 11,94 HSU dan pada kilometer 40.000 menunjukkan angka 14,32 HSU.

Emisi smoke pada kendaraan uji relatif stabil pada kisaran 10,4 HSU sampai dengan 14,4 HSU selama uji jalan sampai dengan 40.000 kilometer. Nilai emisi smoke selama uji jalan dan sosialisasi ini masih jauh di bawah ambang batas yang diijinkan menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2006 yaitu sebesar 50%. Hal ini menunjukkan hasil yang positif pemakaian B20 pada kendaraan angkut barang (truk) terhadap emisi asap (smoke) yang dihasilkan.



Gambar 6. Grafik hasil uji opasitas asap

Biodiesel yang dibuat dari minyak tumbuhan mengandung sulfur yang sangat rendah, walaupun dapat juga dijumpai biodiesel yang dibuat dari minyak hewan mengandung sulfur sebesar 50 – 100 ppm (Gerpen dkk, 2007). Kandungan sulfur berpengaruh besar pada pembentukan emisi partikulat. Dalam proses pembakaran, 95 - 98% sulfur teroksidasi menjadi SO<sub>2</sub> dimana gas ini bersama gas buang lain terbuang ke udara dan dapat bereaksi yang berkontribusi pada pembentukan asap dan hujan asam. SO<sub>2</sub> dengan adanya oksigen membentuk SO<sub>3</sub>. Di dalam temperatur tinggi gas ini berbentuk uap (*vapour*) dan dengan mudah bercampur dengan air yang terbentuk selama proses pembakaran. Aerosol dari asam sulfur yang menyatu dengan air menjadi komponen emisi partikulat (Merkisz, 2002).

Tabel 2: Used oil analysis

PARAMETER	HASIL PENGUKURAN	BATAS TOLERANSI		SATUAN
		(Fitch, 2011)	Shell	
Degradasi pelumas				
Viskositas, 100 °C	12,6	-10% s/d +20%	+/- 20%	cSt mgKOH/g
TBN	11,6	penurunan 75%	2,0	
Keausan logam		SOS, PT. Trakindo	Shell	
Fe	71	< 125	3 – 150	ppm
Al	6	< 25	2 – 20	ppm
Cr	1	< 15	0 – 20	ppm
Cu	2	< 35	-5 – 65	ppm
Pb	0	< 25	3 – 50	ppm
Si	9	< 45	1 – 15	ppm
Kandungan aditif				
Ca	3917			ppm
Zn	1298			ppm
Mo	100			ppm
Mg	21			ppm
P	929			ppm
B	34			ppm

Hasil uji pelumas bekas sesudah uji jalan dan *road show* ditunjukkan pada Tabel 2. Dari Tabel 2 tersebut parameter degradasi pelumas, kandungan aditif maupun keausan logam masih di dalam toleransi yang diijinkan.

Sifat fisik viskositas masih pada nilai 12,6 cSt. Pelumas yang digunakan mempunyai spesifikasi API SAE 15W-40 dan berdasar brosur didapat nilai uji viskositas pada suhu 100°C berada pada nilai 15 cSt, sehingga selisih dengan spesifikasi pelumas barunya sebesar 16%. Nilai ini masih didalam batas limit yang dikeluarkan Shell (Angeles, 2003). Nilai batas toleransi ini dapat bervariasi antar perusahaan atau pengambil keputusan tergantung pada pengalaman, *data base*, biaya maupun penelitian yang dilakukan. Nilai viskositas hasil uji masih merupakan perkiraan karena perubahan viskositas seharusnya dibandingkan dengan nilai viskositas pelumas baru, dimana pengukuran viskositas baru tersebut tidak dilakukan. Demikian juga dengan nilai TBN sebesar 11,6 mgKOH/g yang masih jauh dengan dengan batas limitnya sebesar 2,0 mgKOH/g. Hasil ini menunjukkan bahwa kelayakan pemakaian pelumas masih dalam kondisi yang baik. Hasil ini didukung dengan kandungan aditifnya. Semua nilai dari keausan logam masih dibawah nilai toleransi yang diijinkan. Keausan logam ini berasal dari berbagai komponen engine sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1. Hal ini menunjukkan tidak terjadi keausan komponen engine secara signifikan.

Aditif Ca dan Mg merupakan aditif pembersih (*detergency/dispersant*) yang bekerja dengan cara meningkatkan sifat basa dengan ditunjukkan nilai TBN. Sifat basa berfungsi menetralkan sifat asam hasil oksidasi pelumas akibat pemakaian terlalu lama atau panas akibat beban yang berat. Kandungan Zn dan P masih tersedia yang berfungsi sebagai aditif anti oksidan anti keausan (*anti wear*). Mo merupakan aditif anti tekanan tinggi (*extreme pressure*) pada pelumas atau grase dan juga dipakai sebagai anti karat untuk cairan pendingin mesin (*coolant*), dan B dapat digunakan sebagai aditif *detergent/dispersant*, anti-oxidant pelumas atau aditif pendingin mesin. Sejumlah kandungan aditif masih terdeteksi pada pelumas habis pakai mengindikasikan bahwa pelumas tersebut masih layak digunakan (*in-service*).

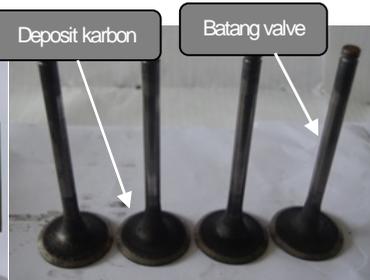


Gambar 7. Piston sesudah uji ketahanan

Dari hasil pengamatan visual, pemakaian B20 FAME juga tidak menunjukkan pengaruh negatif pada komponen sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7 s/d Gambar 10. Gambar 7 menunjukkan piston masih menunjukkan kondisi normal. Pembentukan deposit pada kepala piston tidak terlihat berlebihan. Ring piston juga dapat bekerja dengan baik dilihat dari tidak adanya deposit (warna hitam) di daerah di bawah alur ring (*skirt*). Juga tidak ditemukan adanya keausan. Kondisi di bawah kepala piston (*under crown*) juga terlihat bersih.



Gambar 8. Kepala silinder



Gambar 9. Katup pemasukan



Gambar 10. Silinder

Pembentukan deposit karbon di ruang bakar ditunjukkan dengan kondisi deposit kepala silinder (Gambar 8) dan di katup pemasukan (Gambar 9) terlihat normal. Batang katup pemasukan juga tidak terjadi keausan yang signifikan. Gambar 10 menunjukkan kondisi permukaan dinding silinder. Dari gambar tersebut bekas kontak antara permukaan ring piston dengan dinding silinder terlihat normal dan bukan keausan yang signifikan. Komponen kritis engine sesudah pengujian ketahanan (*durability*) memperlihatkan kondisi operasi engine dan sistem pelumasannya telah beroperasi secara normal.

## Kesimpulan

Dari uji jalan dan *road show* menggunakan kendaraan truk berbahan bakar B20 FAME sejauh 40.000 kilometer dengan jadwal *service* dan dengan penggunaan serta penggantian pelumas sesuai rekomendasi pabrikan menghasilkan emisi asap (opasitas) yang masih rendah dibandingkan dengan peraturan yang ditetapkan pemerintah dan komponen kritis yang berhubungan dengan sistem pembakaran tidak menunjukkan adanya pengaruh negatif yang signifikan.

## Daftar Pustaka

- Angeles Rolly, (2003), Table on Oil Analisis. <http://www.rsareliability.com/Oil%20Analysis%20Tables.pdf>
- Anonim, (2010), Smoke Factor Measurement with Remote Sensing Device Technology. Environment System Product. North Forbes Blvd. Tuscon AZ, 84745. Wikipedia. Oil analysis. The Free Encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Oil\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_analysis)
- Anonim, (2011), Basics of Oil Analysis. 4th Edition. ©Analysts, Inc. [www.analystsinc.com](http://www.analystsinc.com)
- Anonim, (2012), Health and Safety Executive. Control of diesel engine exhaust emissions in the workplace. Third edition. <http://www.hse.gov.uk/pUbns/priced/hsg187.pdf>
- Fitch Jim, (2011), How to Read an Oil Analysis Report. Noria's 12<sup>th</sup> Annual Conference and Exhibition. Columbus OH. [http://www.reliableplant.com/download/rp2011/jim\\_how\\_to\\_read\\_oil\\_analysis\\_le.pdf](http://www.reliableplant.com/download/rp2011/jim_how_to_read_oil_analysis_le.pdf)
- Gerpen Jon H. Van, Peterson Charles L. and Goering Carroll E, (2007). Biodiesel: An Alternative Fuel for Compression Ignition Engines. ASAE Publication Number 913C0107
- Keputusan Dirjen Migas No. 978.K/10/DJM.S/2013
- Kittelson David and Kraft Markus, (2014), Particle Formation and Models in Internal Combustion Engines. Released: 31 January 2014. Cambridge Centre for Computational Chemical Engineering. University of Cambridge
- Li Weijun, Shao Longyi, Zhang Daizhou, Ro Chul-Un, Hu Min, Bi Xinhui, Geng Hong, Matsuki Atsushi, Niu Hongya, Chen Jianmin, (2015), A review of single aerosol particle studies in the atmosphere of East Asia: Morphology, mixing state, source, and heterogeneous reactions. Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro)
- Merkisz Jerzy, Kozak Miłosław. Bielaczyc Piotr, Szczotka Andrzej, (2002), An Investigation of Influence of Diesel Fuel Sulphur Content on Particulates Emissions From Direct Injection Common Rail Diesel Vehicle. Journal of KONES Internal Combustion Engines
- Peraturan Menteri ESDM NO. 25 tahun 2013 dan no. 20 tahun 2014 tentang Perubahan Pertama dan Kedua atas Peraturan Menteri ESDM No. 32 Tahun 2008
- Press release Roadshow B20-1, (27 Januari 2016), Roadshow B20 Lintas Jawa 2016 Dimulai. Jakarta
- Rahmadi Ari, Wibowo Edi, Paryanto Imam, Wibowo Cahyo S., Fajar Rizqon, (2015), Laporan Kajian dan Uji Pemanfaatan Biodiesel 20%. Direktorat Bioenergi, DirJend. Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Kementerian ESDM
- SNI 7182:2015; Biodiesel