

## Analisis Pengaruh Biodiesel B20 Dan B100 Terhadap Degradasi Viskositas Dan Total Base Number Minyak Pelumas Pada Mesin Diesel Yang Beroperasi Dalam Jangka Panjang Dengan Metode ASTM D2896 Dan ASTM D445-06

J. Sentanuhady, A. I. Majid, W. Prasadha, W. Saputro,  
N.P. Gunawan, T.Y. Raditya, M. A. Muflikhun \*

*Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,  
Jalan Grafika No. 2, Yogyakarta, Indonesia 55281*

### Abstrak

*Berdasarkan karakteristiknya biodiesel memiliki densitas, viskositas, serta tingkat keasaman yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar, sehingga memiliki kekurangan dari sisi pelumas terutama dalam jangka panjang. Dampaknya berupa penurunan nilai viskositas kinematik pelumas, penurunan total base number hingga berdampak pada penurunan kinerja mesin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pelumas yang dihasilkan dari penggunaan biodiesel (B20 dan B100) terhadap nilai viskositas kinematik pelumas dan Total Base Number (TBN). Metode pengujian menggunakan standard ASTM D2896-15 dan ASTM D445-06. Penelitian ini menggunakan dua unit mesin diesel Kubota RD 65 DI-NB dengan volume silinder masing-masing mesin 376 cc. Mesin dikopel dengan generator untuk menyalakan lampu halogen dengan total daya 4000 W. Kedua mesin menggunakan bahan bakar berbeda, mesin pertama diisi dengan bahan bakar B20 dan mesin kedua diisi dengan bahan bakar B100 dari minyak sawit. Kecepatan putar mesin dijaga konstan pada 2200 rpm dan mesin dioperasikan selama 300 jam tanpa henti, dan setiap kelipatan 100 jam dilakukan pengambilan sampel pelumas. Berdasarkan hasil penelitian kualitas pelumas berbahan bakar B100 tidak lebih baik dibandingkan pelumas berbahan bakar B20. Pelumas berbahan bakar B100 memiliki nilai viskositas kinematik pada suhu 40 °C dan 100 °C serta nilai TBN yang lebih rendah dibandingkan pelumas berbahan bakar B20.*

**Kata kunci:** *biodiesel; pelumas; viskositas kinematik; total base number; B100; B20*

### Abstract

**[Title: Analysis of the Effect of Biodiesel B20 and B100 on the Degradation of Viscosity and Total Base Number of Lubricating Oil in Diesel Engines with Long-Term Operation Using ASTM D2896 and ASTM D445-06 Methods]** *Based on its characteristics, biodiesel has a higher density, viscosity, and acidity level than diesel fuel, so it has a disadvantages in terms of lubricants especially in the long run. The impact, it can decrease the kinematic viscosity of the lubricant, a decrease in the total base number, and the impact by decreased of the engine performance. This research aims to determine the characteristics of lubricants from the use of biodiesel (B20 and B100) related to the kinematic viscosity of lubricants and Total Base Number (TBN). The testing method were used ASTM D2896-15 and ASTM D445-06 standard. The study used two units Kubota RD 65 DI-NB diesel engines with a cylinder volume of 376 cc. The rotary speed of the machine was keep constant at 2200 rpm and were operated for 300 hours non-stop. Moreover, the sampled was carried out every multiple of 100 hours. Based on the research results, the quality of lubricants with B100 fuel is no better than lubricants with B20 fuel. B100-fueled lubricants have kinematic viscosity values at temperatures of 40 °C and 100 °C and has lower TBN values than B20-fueled lubricants.*

---

\*) Penulis Korespondensi.  
E-mail: jayan@ugm.ac.id

**Keywords:** *biodiesel; lubricant; kinematic viscosity; total base number; B100; B20*

1. Pendahuluan

Sejak tahun 2016 pemerintah Indonesia telah mewajibkan penggunaan bahan bakar biodiesel yang implementasi penggunaan biodiesel tersebut tertuang dalam peraturan Menteri ESDM Nomor 12 tahun 2015 (Raksodewanto *dkk.*, 2018). Tujuan implementasi tersebut adalah meningkatkan ketahanan dan kemandirian energi dimana selama ini Indonesia masih sangat bergantung pada bahan bakar solar yang ketersediannya semakin menipis. Namun penerapan bahan bakar biodiesel masih banyak menimbulkan masalah bagi mesin diesel itu sendiri terutama dari segi pelumas yang digunakan (Dugmore & Stark, 2014; Gulzar *dkk.*, 2015; Sharma *dkk.*, 2020). Berdasarkan karakteristiknya biodiesel memiliki nilai densitas, viskositas, serta tingkat keasaman yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar, sehingga memungkinkan timbulnya dampak lain yang lebih besar dari sisi pelumas terutama dalam jangka panjang.

Saat ini pengujian terkait biodiesel masih banyak bersumber dari tanaman seperti jatropha, pongamia, dan biji bunga matahari. Dhar & Agarwal, (2014) melakukan pengujian terkait pengaruh bahan bakar biodiesel terhadap degradasi pelumas seperti nilai viskositas 40 °C dan 100 °C serta *Total Base Number* (TBN). Pengujian dilakukan selama 200 jam operasi dan pengambilan sampel pelumas dilakukan setiap interval 20 jam sekali. Metode pengukuran dilakukan di laboratorium terstandar. Menurut ((Dhar & Agarwal, 2014) penggunaan bahan bakar biodiesel dari tanaman Karanja menghasilkan penurunan nilai viskositas kinematik pelumas dan *Total Base Number* (TBN) yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar. Pengurangan nilai viskositas kinematik pelumas selama pengujian ketahanan mesin dapat meningkatkan keausan di antara bagian-bagian mesin yang bergerak dan mengurangi umur mesin (Datta & Mandal, 2016; Dharma *dkk.*, 2016; Prabhu & Venkata Ramanan, 2020). Menurut (Gopal & Raj, 2016) penggunaan bahan bakar biodiesel juga menghasilkan penurunan nilai viskositas kinematik pelumas yang lebih tinggi. Selain itu, menurut beberapa peneliti menyebutkan, penggunaan bahan bakar

biodiesel dari natural oil menghasilkan penurunan nilai TBN yang lebih tinggi dan mengakibatkan peningkatan nilai Total Acid Number (TAN) yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan bahan bakar solar (Elkelawy *dkk.*, 2020; Mujtaba *dkk.*, 2020; Singh *dkk.*, 2019; Xie *dkk.*, 2017).

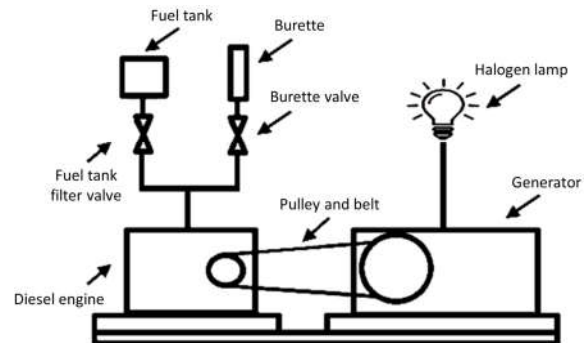
Biodiesel dari minyak sawit menjadi pilihan sebagai bahan bakar pengganti solar dikarenakan, Indonesia adalah salah satu negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia dengan nilai produksi tahunan mencapai 34,7 juta ton (2019). Secara teoritis biodiesel dari minyak sawit dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar, tetapi hingga saat ini penelitian terkait dengan dampak penggunaan biodiesel terhadap pelumas masih sangat sedikit diteliti, terutama dampak yang ditimbulkan apabila implementasi dalam jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan memahami dampak yang ditimbulkan dari penggunaan biodiesel B20 dan B100 berbahan dasar minyak sawit khususnya pada kualitas pelumas yang dihasilkan setelah pengujian dalam jangka waktu tertentu. Adapun parameter yang akan diteliti diantaranya yaitu nilai viskositas kinematik pelumas pada suhu 40 °C dan 100 °C dan nilai TBN pelumas (Afriyanti *dkk.*, 2016; Ayompe *dkk.*, 2021; Hakim *dkk.*, 2020; Sitepu *dkk.*, 2020)

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua unit mesin diesel yang sama yaitu mesin diesel Kubota RD 65 DI NB yang spesifikasiya ditunjukkan pada Tabel 1.

Pada Gambar 1, masing-masing mesin akan dikopel dengan generator listrik Denyo tipe FA-5 dengan kapasitas puncak 5000 Watt. Tiap Mesin diesel akan menggerakkan satu generator listrik, yang dibebani oleh lampu halogen dengan daya 5000-Watt pada putaran mesin konstan 2200 rpm. Pada saat beroperasi normal, bahan bakar diambil dari fuel tank secara langsung dan pada saat pengukuran konsumsi bahan bakar (SFC), bahan bakar diambil dan diukur dengan menggunakan Burette.

Kemudian generator listrik tersebut digunakan



Gambar 1. Skema Pengujian

Tabel 1. Spesifikasi mesin diesel yang digunakan

Spesifikasi Mesin Diesel	
Model	RD65DI-NB
Tipe	4 langkah horisontal
Jumlah Silinder	1
Isi Silinder (cc)	376
Tenaga Kontinyu (HP/rpm)	5,5 / 2200
Tenaga Maksimum (HP/rpm)	6,5 / 2200
Torsi Maksimum (Kg.m/rpm)	2,36 / 1800
Sistem Pembakaran	Direct Injection
Konsumsi Bahan Bakar (gr/HP.hr)	182
Sistem Pendinginan	Radiator

**Tabel 2.** Standard yang digunakan dan spesifikasi bahan bakar yang dipakai

Parameter	Mesin B100	Mesin B20
Bahan Bakar	B100	B20
Putaran- Mesin	2200 rpm	2200 rpm
Pelumas	Pertamina Mediteran SX Bio SAE 15W-40	Pertamina Mediteran SX Bio SAE 15W-40
Pendingin	Prestone	Prestone
Pembebanan	4000 W	4000 W

untuk menyalakan lampu halogen dengan total daya 4000 W sebagai beban mesin. Pengujian dilakukan dengan kedua mesin dioperasikan pada kecepatan konstan 2200 rpm selama 300 jam operasi menggunakan bahan bakar B20 dan B100. Selanjutnya setiap kelipatan 100 jam operasi dilakukan pengambilan sampel pelumas, kemudian sampel pelumas di kirim ke laboratorium untuk dilakukan pengujian. Uji viskositas kinematik 100 °C dan 40 °C dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) UGM dan pengujian *Total Base Number* (TBN) dilakukan di Petrolab Services Jakarta. Pengujian viskositas kinematik 100 °C dan 40 °C menggunakan metode ASTM D445-06 dan pengujian TBN menggunakan metode ASTM D2896-15.

Bahan bakar yang digunakan untuk kedua mesin adalah B20 dan B100. B20 didapatkan dari Stasiun Pengisian Bahan Bakar Pertamina sedangkan B100 didapatkan dari proses pengolahan minyak sawit PT Pelita Agung Agrindustri yang terletak di Dumai, dimana spesifikasi kedua bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 2.

Pelumas yang digunakan kedua mesin adalah Pertamina Mediteran SX Bio SAE 15W-40 yang diproduksi oleh PT. Pertamina Lubricant. Detail kondisi pengujian dari penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Sifat fisik kimia pelumas umum digunakan untuk menentukan kualitas pelumas yang dibutuhkan sesuai dengan persyaratan pelayanan mesin. Perubahan terhadap sifat fisik kimia pelumas habis pakai (*used*) digunakan sebagai parameter kerusakan atau degradasi yang disebabkan proses oksidasi dan kontaminasi. Sifat-sifat tersebut digunakan sebagai dasar penentuan batas peringatan untuk memprediksi kondisi komponen mesin.

Viskositas pelumas, secara sederhana dapat diartikan sebagai resistansi pelumas untuk mengalir. Pada prakteknya, viskositas pelumas sangat dipengaruhi oleh suhu operasi mesin diesel. Pada suhu operasi mesin diesel yang tinggi, viskositas pelumas tidak boleh terlalu rendah karena lapisan pelumas yang berada diantara dua komponen mesin yang bergerak akan sobek dan akan terjadi kontak langsung antara komponen-komponen tersebut sehingga menyebabkan terjadinya keausan. TBN merupakan suatu karakteristik kimia yang menunjukkan tingkat basa pelumas untuk menetralkan asam, baik asam hasil oksidasi pelumas, maupun asam yang terbentuk selama proses pembakaran yang selanjutnya mengkontaminasi pelumas.

Reaksi hasil pembakaran di ruang bakar seperti SO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>O yang masuk ke dalam penampung oli (oil sump) akan membentuk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang bersifat korosif dan dapat merusak logam alloy dari komponen mesin diesel. Hal ini juga diperkuat dari hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa semakin rendah pH

**Tabel 3.** Parameter pengujian

No	Parameter Uji	Metode Uji	Satuan	Hasil Uji B100	Hasil Uji B20
1	Massa jenis pada 40 °C	ASTM D 1298-12b	kg m <sup>-3</sup>	862,4	-
2	Massa jenis pada 15 °C	-	kg m <sup>-3</sup>	-	845,7
3	Viskositas kinematik pada 40 °C	ASTM D 445-06	mm <sup>2</sup> /s	4,53	2,92
4	Angka setana	ASTM D6980-12		61,0	56,7
5	Titik nyala	ASTM D 93-02	°C	177	65
6	Residu karbon (dalam contoh asli) (dalam 10% ampas distilasi)	ASTM D 4530-07	%(mm <sup>-1</sup> )	0,040 0,160	- -
7	Temperatur distilasi 90% Kestabilan oksidasi	ASTM D 1160-06	°C	350	344 -
8	Periode induksi Metode Rancimat	EN 15751-2009	Menit	1200	>2880
9	Warna	ASTM D 1500	Colour ASTM	1,0	1,1
10	Kadar Ester metil	Calculation	%(mm <sup>-1</sup> )	98,24	-
11	Kandungan FAME	-	% v/v	-	20
12	Kadar air	ASTM D 6304	ppm	267	159,63

pelumas mesin, maka akan semakin tinggi tingkat keausan dari komponen-komponen mesin diesel dan akan mempercepat terjadinya proses korosi yang diawali dengan peningkatan laju reaksi oksidasi permukaan logam (Dere & Deniz, 2020; Hammershøi *dkk.*, 2018; Högström, 2018; Li *dkk.*, 2019; Xiao *dkk.*, 2018).

**3.1. Viskositas Kinematik 40 °C dan 100 °C**

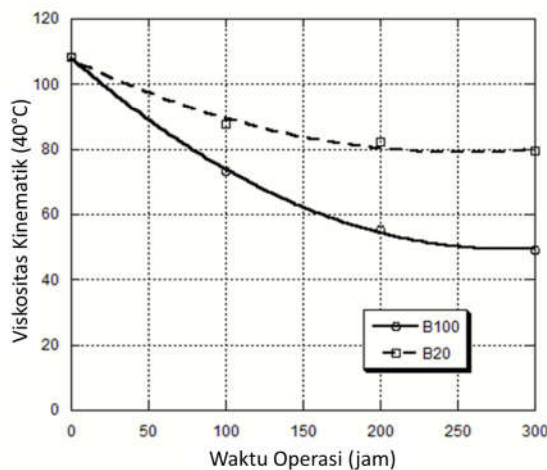
Nilai viskositas suatu pelumas memainkan peran utama dalam mengembangkan dan mempertahankan ketebalan film diantara dua permukaan yang bergesekan misalnya piston dan silinder. Setelah dilakukan pengujian *endurance* dan pengujian di laboratorium, diperoleh nilai viskositas kinematik 40 °C untuk kedua sampel pelumas dituangkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 2. Berdasarkan hasil analisa hingga 300 jam operasi, diperoleh nilai rata-rata viskositas 40 °C yang dihasilkan pelumas berbahan bakar B100 lebih rendah 29% dibandingkan nilai viskositas pelumas berbahan bakar B20. Sedangkan laju penurunan rata-rata pelumas berbahan bakar B100 terhadap waktu operasi mencapai 22,6% dan untuk berbahan bakar B20 mencapai 9,6%.

Sedangkan viskositas kinematik pelumas pada suhu 100 °C ditunjukkan pada Gambar 3. Dari data grafik tersebut diperoleh nilai rata-rata viskositas kinematik 100 °C yang dihasilkan pelumas berbahan bakar B100 lebih rendah 22% dibandingkan nilai viskositas pelumas berbahan bakar B20. Laju penurunan rata-rata pelumas berbahan bakar B100 terhadap waktu operasi mencapai 15% dan untuk berbahan bakar B20 mencapai 7,6%.

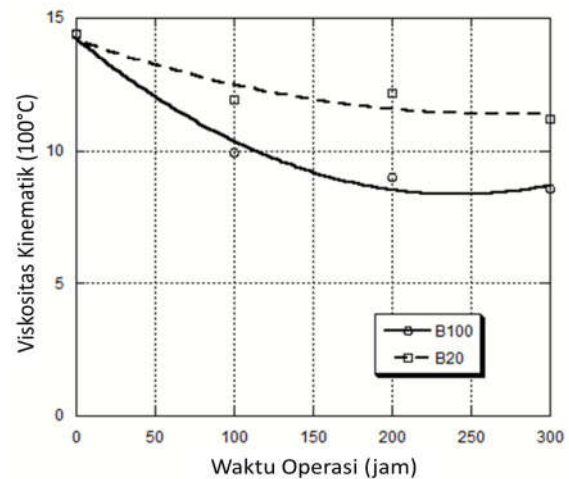
Pembakaran yang tidak sempurna, akan menyisakan bahan bakar yang tidak terbakar dan pada umumnya akan menempel di permukaan logam baik itu liner maupun permukaan komponen lain dalam ruang bakar. Secara natural bahan bakar yang menempel di dinding silinder akan kontak langsung dengan pelumas

yang dibawa naik oleh oil ring piston. Kontaknya pelumas dan sisa bahan bakar di permukaan dinding silinder akan menyebabkan dilusi bagi pelumas menjadi lebih besar, sehingga menyebabkan penurunan nilai viskositas kinematik yang lebih tinggi pada pelumas berbahan bakar B100. Bila dilusi pelumas semakin besar maka viskositas pelumas semakin menurun dan pada akhirnya akan menyebabkan keausan komponen yang lebih besar. Menurut (Li *dkk.*, 2019; Singh *dkk.*, 2017) dilusi pelumas akan berpotensi menimbulkan masalah seperti penurunan kinerja dan daya tahan mesin. Hasil penelitian ini sesuai dengan pengujian yang dilakukan oleh (Gulzar *dkk.*, 2015) di mana nilai viskositas kinematik yang dihasilkan pelumas berbahan bakar biodiesel lebih rendah dibandingkan bahan bakar solar dan menurutnya tren penurunan nilai viskositas yang diperoleh disebabkan oleh dilusi bahan bakar biodiesel yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar.

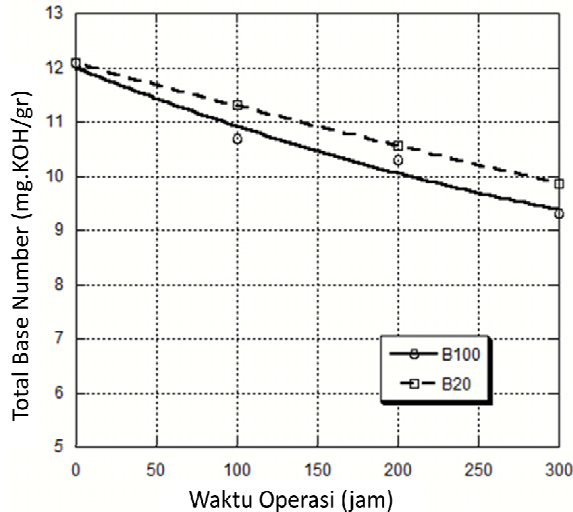
Hasil pengujian yang diperoleh pada penelitian ini sesuai dengan hasil pengujian yang telah dilakukan peneliti lainnya, seperti pada penelitian Dhar dan Agarwal, (2014). Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan, nilai viskositas kinematik 40 °C dan 100 °C kedua pelumas mengalami penurunan setelah 100 jam operasi. Pelumas berbahan bakar biodiesel menunjukkan penurunan lebih tinggi dibandingkan pelumas berbahan bakar solar. Menurut Dhar dan Agarwal, (2014) Oksidasi dan polimerisasi pada pelumas cenderung meningkatkan nilai viskositas, sedangkan dilusi bahan bakar cenderung menurunkan nilai viskositas. Hasil yang sama juga diperoleh oleh Gopal dan Raj, (2015). Gopal dan Raj, (2015) melakukan penelitian terkait pengaruh sifat bahan bakar terhadap nilai viskositas kinematik 100 °C. Pengujian *endurance* dilakukan menggunakan bahan bakar biodiesel yaitu PME20 (20% *Pongamia oil methyl* dan 80% *mineral diesel*) dan bahan bakar solar



**Gambar 2.** Grafik viskositas kinematik dengan temperatur 40 °C terhadap waktu operasi



**Gambar 3.** Grafik viskositas kinematik dengan temperatur 100 °C terhadap waktu operasi



**Gambar 4.** Grafik total base number relatif terhadap waktu operasi

digunakan sebagai pembandingnya. Pengujian dilakukan selama 256 jam yang terdiri dari 16 siklus dan masing-masing siklus terdiri dari 16 jam operasi. Berdasarkan hasil analisa, diperoleh nilai viskositas kinematik 100 °C kedua pelumas mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu operasi. Hingga 256 jam operasi diketahui bahwa pelumas berbahan bakar PME20 mengalami penurunan lebih tinggi sebesar 3-6% dibandingkan pelumas berbahan bakar solar.

### 3.2. Hasil Total Base Number (TBN)

Hasil pengujian TBN yang telah dilakukan dituangkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4. Berdasarkan hasil analisa hingga 300 jam operasi, diperoleh nilai rata-rata TBN yang dihasilkan pelumas berbahan bakar B100 lebih rendah 4,6% dibandingkan nilai TBN pelumas berbahan bakar B20. Sedangkan laju penurunan rata-rata pelumas berbahan bakar B100 terhadap waktu operasi mencapai 8% dan untuk berbahan bakar B20 mencapai 6,5%.

Rendahnya nilai TBN pelumas berbahan bakar B100 dibandingkan pelumas berbahan bakar B20 dikarenakan tingkat dilusi yang lebih tinggi pada pelumas berbahan bakar B100. Dilusi pada B100 yang lebih tinggi yang mengakibatkan penurunan TBN pada pelumas disebabkan oleh mekanisme yang sama yang mengakibatkan penurunan viskositas yang telah dijelaskan pada bagian sub bab terkait dengan penjelasan viskositas kinematik (sub bab 3.1). Lebih lanjut, nilai TBN pelumas berbahan bakar B100 yang lebih rendah dibandingkan pelumas berbahan bakar B20 juga menunjukkan penipisan pada inhibitor korosi (aditif) yang relatif lebih cepat pada pelumas berbahan bakar B100, hal ini akibat interaksi yang terjadi dengan bahan bakar B100, yang secara kimiawi lebih aktif dibandingkan dengan bahan bakar

B20. Selain itu menurut Sugiyama *dkk.* (1999) bahan bakar biodiesel yang menghidrolisis ester, hidrolisis ini menghasilkan penambahan asam organik lemah, sehingga meningkatkan nilai TAN. Nilai TAN yang tinggi pada bahan bakar B100 akibat proses hidrolisis akan menyebabkan tingkat korosi akan menjadi lebih cepat dan masif sehingga menyebabkan laju penurunan kualitas pelumas lebih tinggi dan umur komponen mesin menjadi lebih pendek dibandingkan dengan mesin berbahan bakar B20.

Hasil pengujian yang diperoleh sesuai dengan hasil pengujian yang telah dilakukan peneliti lainnya, seperti pada penelitian Dhar dan Agarwal, (2013). Berdasarkan hasil analisis diketahui nilai TBN pada kedua jenis pelumas baik berbahan bakar biodiesel dan berbahan bakar solar menurun seiring bertambahnya waktu operasi pengujian. Hingga 100 jam operasi penurunan TBN kedua jenis pelumas cenderung identik sama. Setelah 100 jam operasi penurunan TBN pelumas berbahan bakar biodiesel lebih tinggi dibandingkan pelumas berbahan bakar solar.

### 4. Kesimpulan

Penggunaan bahan bakar B100 dalam jangka panjang menghasilkan laju penurunan kualitas yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar B20. Hal tersebut menandakan kualitas peumas berbahan bakar B100 tidak lebih baik dibandingkan berbahan bakar B20. Hal ini dibuktikan dari hasil pengujian pada parameter yang telah dilakukan, di mana nilai viskositas kinematik pelumas berbahan bakar B100 pada suhu 40 °C lebih rendah 29% dan 100 °C lebih rendah 22% bila dibandingkan pelumas mesin berbahan bakar B20 pada kondisi yang sama. Selain itu TBN pelumas berbahan bakar B100 lebih rendah 4,6% dibandingkan pelumas berbahan bakar B20.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada atas dana riset yang diberikan.

### Daftar Pustaka

- Afriyanti, D., Kroeze, C., & Saad, A. (2016). Indonesia palm oil production without deforestation and peat conversion by 2050. *Science of the Total Environment*, 557–558, 562–570. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.032>
- Ayompe, L. M., Schaafsma, M., & Egoh, B. N. (2021). Towards sustainable palm oil production: The positive and negative impacts on ecosystem services and human wellbeing. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123914. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123914>
- Datta, A., & Mandal, B. K. (2016). A comprehensive review of biodiesel as an alternative fuel for

- compression ignition engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 799–821. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.170>
- Dere, C., & Deniz, C. (2020). Effect analysis on energy efficiency enhancement of controlled cylinder liner temperatures in marine diesel engines with model based approach. *Energy Conversion and Management*, 220(June), 113015. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113015>
- Dhar, A., & Agarwal, A. K. (2014). Effect of Karanja biodiesel blend on engine wear in a diesel engine. *Fuel*, 134, 81–89.
- Dharma, S., Ong, H. C., Masjuki, H. H., Sebayang, A. H., & Silitonga, A. S. (2016). An overview of engine durability and compatibility using biodiesel–bioethanol–diesel blends in compression-ignition engines. *Energy Conversion and Management*, 128, 66–81. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.072>
- Dugmore, T. I. J., & Stark, M. S. (2014). Effect of biodiesel on the autoxidation of lubricant base fluids. *Fuel*, 124, 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.01.039>
- Elkelawy, M., Bastawissi, H. A. E., Esmacil, K. K., Radwan, A. M., Panchal, H., Sadasivuni, K. K., Suresh, M., & Israr, M. (2020). Maximization of biodiesel production from sunflower and soybean oils and prediction of diesel engine performance and emission characteristics through response surface methodology. *Fuel*, 266(December 2019), 117072. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117072>
- Gopal, K. N., & Raj, R. T. K. (2016). Effect of pongamia oil methyl ester--diesel blend on lubricating oil degradation of di compression ignition engine. *Fuel*, 165, 105–114.
- Gulzar, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Varman, M., & Fattah, I. M. R. (2015). Oil filter modification for biodiesel--fueled engine: A pathway to lubricant sustainability and exhaust emissions reduction. *Energy Conversion and Management*, 91, 168–175.
- Hakim, D. B., Hadianto, A., Giyanto, Hutaria, T., & Amaliah, S. (2020). The production efficiency of herbicides in palm oil plantation in Sumatera and Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 468(1), 0–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012054>
- Hammershøi, P. S., Jensen, A. D., & Janssens, T. V. W. (2018). Impact of SO<sub>2</sub>-poisoning over the lifetime of a Cu-CHA catalyst for NH<sub>3</sub>-SCR. *Applied Catalysis B: Environmental*, 238(June), 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.06.039>
- Högström, Å. (2018). Sulfur poisoning and regeneration of copper zeolites for NH<sub>3</sub>-SCR. In *Graduate Theses and Dissertations, Luleå University of Technology*.
- Li, T., Ma, X., Lu, X., Wang, C., Jiao, B., Xu, H., & Zou, D. (2019). Lubrication analysis for the piston ring of a two-stroke marine diesel engine taking account of the oil supply. *International Journal of Engine Research*, 145. <https://doi.org/10.1177/1468087419872113>
- Mujtaba, M. A., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Noor, F., Farooq, M., Ong, H. C., Gul, M., Soudagar, M. E. M., Bashir, S., Fattah, I. M. R., & Razzaq, L. (2020). Effect of additivized biodiesel blends on diesel engine performance, emission, tribological characteristics, and lubricant tribology. *Energies*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/en13133375>
- Prabhu, A., & Venkata Ramanan, M. (2020). Detailed analysis on injection timing retardation and simultaneous technology in a biodiesel-powered compression ignition engine. *International Journal of Ambient Energy*, 41(12), 1437–1440. <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1501749>
- Raksodewanto, A. A., Abrori, M., & Hariana, H. (2018). Penggunaan biodiesel b30 untuk sektor pembangkit listrik dalam rangka penghematan devisa. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*.
- Sharma, S., Kundu, A., Basu, S., Shetti, N. P., & Aminabhavi, T. M. (2020). Sustainable environmental management and related biofuel technologies. *Journal of Environmental Management*, 273(April), 111096. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111096>
- Singh, P., Chauhan, S. R., Goel, V., & Gupta, A. K. (2019). Impact of binary biofuel blend on lubricating oil degradation in a compression ignition engine. *Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME*, 141(3). <https://doi.org/10.1115/1.4041411>
- Singh, P., Goel, V., & Chauhan, S. R. (2017). Impact of dual biofuel approach on engine oil dilution in CI engines. *Fuel*, 207, 680–689. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.06.110>
- Sitepu, M. H., Matondang, A. R., & Sembiring, M. T. (2020). Sustainability assessment in crude palm oil production: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 725(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/725/1/012074>
- Xiao, H., Dou, C., Shi, H., Ge, J., & Cai, L. (2018). Influence of sulfur-containing sodium salt poisoned V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> catalysts on SO<sub>2</sub>–SO<sub>3</sub> conversion and NO removal. *Catalysts*, 8(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/catal8110541>
- Xie, W. Q., Gong, Y. X., & Yu, K. X. (2017). A rapid method for the quantitative analysis of total acid number in biodiesel based on headspace GC technique. *Fuel*, 210(August), 236–240. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.08.070>