

Karakteristik Pelumas Bekas Hasil Adsorpsi Menggunakan Arang Batang Kesambi (*Schleichera oleosa*) dan Zeolit Alam Ende Teraktivasi H₃PO₄

Theo M Da Cunha, Maria Y. B. Fone, Bibiana Dho Tawa, Antonius R. B. Ola

Jurusan Kimia Fakultas Sains Dan Teknik Universitas Nusa Cendana

Article Received: 23 Maret 2022

Article Accepted: 17 Mei 2022

Abstract

Used lubricants contain contaminants from oxidation and thermal degradation, resulting in a decrease in the quality and performance of the lubricant. Therefore, the adsorption process is carried out using kesambi stem charcoal and natural zeolite Ende activated H₃PO₄ to remove contaminants and improve the quality of used lubricants. Determination of the density and kinematic viscosity of used lubricants mass variations of 0.5, 0.66, 1 and 2 grams for each adsorbent. The results obtained show that the value of the used lubricant density from the adsorption results is relatively the same, namely 0.83 g/cm³, while the kinematic viscosity is different for each variation of the mass and type of adsorbent. Kesambi stem active charcoal has an optimum mass of 0.66 grams with a kinematic viscosity value of 128.84 cSt, active natural zeolite at a mass of 0.5 grams of 113.59 cSt and continued use of active natural zeolite-active natural charcoal, namely at a mass of 2 grams of 106, 38 cSt. These results indicate that the variation in the mass of the adsorbent has no effect on the change in density value but shows a significant change in the increase in the value of the kinematic viscosity of the used lubricant from the adsorption. The best percentage of kinematic viscosity increase efficiency is using activated charcoal, which is 71.83%.

Keywords: Used lubricants, Kesambi stem activated charcoal, Active natural zeolite, Density, Kinematic viscosity

Abstrak

Pelumas bekas mengandung kontaminan yang berasal dari proses oksidasi dan degradasi termal sehingga mengakibatkan penurunan kualitas dan kinerja pelumas. Oleh karena itu, dilakukan proses adsorpsi menggunakan arang batang kesambi dan zeolit alam Ende teraktivasi H₃PO₄ untuk menghilangkan kontaminan dan meningkatkan kualitas pelumas bekas. Penentuan densitas dan viskositas kinematik pelumas bekas menggunakan variasi massa 0.5, 0.66, 1 dan 2 gram pada masing-masing adsorben. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai densitas pelumas bekas hasil adsorpsi relatif sama yaitu 0,83 g/cm³ sedangkan untuk viskositas kinematik berbeda untuk setiap variasi massa dan jenis adsorben. Arang aktif batang kesambi memiliki massa optimum 0,66 gram dengan nilai viskositas kinematik sebesar 128,84 cSt, zeolit alam aktif pada massa 0,5 gram sebesar 113,59 cSt dan penggunaan berlanjut arang aktif-zeolit alam aktif yaitu pada massa 2 gram sebesar 106, 38 cSt. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi massa adsorben tidak berpengaruh terhadap perubahan nilai massa jenis akan tetapi menunjukkan perubahan yang signifikan pada kenaikan nilai viskositas kinematik pelumas bekas hasil adsorpsi. Persentase efisiensi kenaikan viskositas kinematik terbaik adalah menggunakan arang aktif yaitu sebesar 71,83%.

Kata kunci: Pelumas bekas, Arang aktif batang kesambi, Zeolit alam aktif, Massa jenis, Viskositas kinematik

Pendahuluan

Pelumas bekas mengandung sejumlah sisa hasil pembakaran yang bersifat asam, korosif dan logam berat yang bersifat karsinogenik¹ (Hudoyo *et al.*, 2013). Pelumas bekas termasuk limbah bahan beracun dan berbahaya (B3) sehingga perlu pengolahan lebih lanjut sebelum digunakan kembali atau dibuang, karena berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Boadu *et al* (2019) melakukan kajian beberapa metode pengolahan limbah pelumas yaitu metode *acid and clay*, ekstraksi pelarut, distilasi vakum, hidrogenasi dan teknologi membran akan tetapi metode-metode ini masih memiliki kelemahan seperti hasil yang diperoleh rendah, menghasilkan polutan yang tinggi seperti asam sulfat, sulit menghilangkan pengotor aspal, penggunaan pelarut yang berbahaya dan mudah terbakar seperti propana, produk sampingan yang dihasilkan berbahaya sehingga dibutuhkan tempat pembuangan yang tepat, membutuhkan orang yang terampil dan biaya operasional yang tinggi². Penggunaan teknologi moderen dan kombinasi metode juga telah dilakukan akan tetapi metode-metode ini membutuhkan modal dan biaya operasional yang besar serta tenaga ahli. Oleh karena itu perlu dilakukan metode pengolahan yang lebih ramah lingkungan, efisien, terjangkau dan hasil yang tinggi seperti proses adsorpsi. Metode adsorpsi merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi limbah pelumas dan meningkatkan nilai ekonomis dari pelumas bekas. Keunggulan dari metode ini adalah mempunyai daya adsorpsi yang tinggi, biaya yang ekonomis serta efektif untuk menyerap logam berat³, penjernihan minyak pelumas bekas⁴ dan meningkatkan kualitas pelumas bekas. Metode ini dipengaruhi oleh jenis dan sifat dari suatu adsorben. Bahan-bahan yang biasa digunakan sebagai adsorben yaitu arang aktif, lempung dan zeolit karena memiliki permukaan berpori. Namun, adsorben ini masih mengandung pengotor sehingga harus diaktivasi secara fisika dan kimia untuk menghilangkan pengotornya serta untuk memperluas permukaan pori agar semakin banyak adsorbat yang terserap. Beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode adsorpsi. Sonjaya dan Rahmasari (2019) menggunakan karbon aktif, pasir silika serta bentonit dan diperoleh nilai viskositas kinematik dan *specific gravity* terbaik adalah menggunakan adsorben pasir silika karena mendekati karakteristik base oil yaitu 72,378 cSt dan 0.881⁵. Lathifah *et al* (2019) menggunakan metode adsorpsi dengan memanfaatkan bentonit teraktivasi asam sulfat, nilai viskositas kinematik yang diperoleh yaitu 109,94 cSt dengan persentase efisiensi kenaikan viskositas kinematik sebesar 49,15% dan nilai *specific gravity* yaitu 0,8872⁶. Kemala *et al* (2019) memanfaatkan lempung teraktivasi H₂SO₄ dan aktivasi kalsinasi untuk mengadsorpsi logam Pb, diperoleh persentase logam Pb yang terserap mencapai 100%⁷. Nilai viskositas kinematik minyak pelumas meningkat menjadi 53,14 cSt menggunakan lempung aktivasi kalsinasi tetapi menurun menjadi 49,11 cSt menggunakan aktivasi asam sedangkan nilai *specific gravity* relatif sama. Kesambi banyak

ditemukan di wilayah NTT. Akan tetapi, sejauh ini belum ada penelitian tentang arang aktif dari batang kesambi sebagai adsorben pada pelumas bekas. Kombinasi adsorben untuk penjernihan pelumas bekas juga telah dilakukan dengan mengkombinasikan *fly ash*, zeolit dan ABS⁸.

Hasil dan Pembahasan

Kadar abu

Hasil penentuan kadar abu arang tanpa aktivasi dan teraktivasi H₃PO₄ dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data kadar abu arang tanpa dan teraktivasi H₃PO₄

Jenis Arang	Kadar Abu (%)
Tanpa aktivasi	4,4
Teraktivasi H ₃ PO ₄	3,1
Standar SNI	Maks.15

Hasil penelitian pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar abu sebelum dan setelah diaktivasi memenuhi standar SNI 06-3730-1995. Kadar abu setelah diaktivasi lebih rendah dari pada yang tidak teraktivasi. Hal ini karena aktivator telah mengikat dan melarutkan pengotor berupa oksida-oksida logam yang tidak dapat menguap pada proses karbonisasi seperti Natrium (Na₂O), Kalium (K₂O), Magnesium (MgO) dan Kalsium (CaO) yang menyebar dalam kisi-kisi dan permukaan arang. Sehingga pori-pori arang aktif yang dihasilkan lebih banyak, luas permukaannya juga semakin besar dan daya adsorpsi terhadap suatu adsorbat menjadi lebih tinggi.

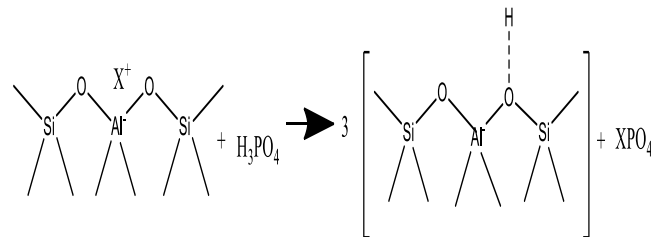
Keasaman permukaan adsorben

Nilai keasaman permukaan arang dan zeolit tanpa aktivasi dan teraktivasi H₃PO₄ dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Keasaman permukaan adsorben

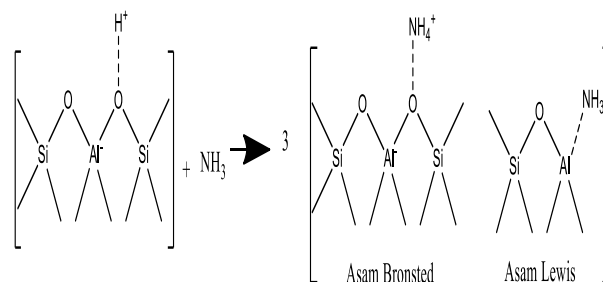
Adsorben	Keasaman permukaan (mmolg ⁻¹)
Arang tanpa aktivasi	0,117
Arang teraktivasi H ₃ PO ₄	2,557
Zeolit tanpa aktivasi	0,234
Zeolit teraktivasi H ₃ PO ₄	3,352

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa keasamaan permukaan sampel arang dan zeolit sebelum diaktivasi yaitu $0,117 \text{ mmol g}^{-1}$ dan $0,234 \text{ mmol g}^{-1}$ kemudian meningkat setelah diaktivasi dengan H_3PO_4 yaitu $2,557 \text{ mmol g}^{-1}$ dan $3,352 \text{ mmol g}^{-1}$. Mekanisme pembentukan situs asam dan interaksi amonia dengan situs asam, untuk penentuan keasamaan total pada permukaan zeolit aktif⁹ dapat dijelaskan dalam Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Mekanisme pembentukan situs asam

Zeolit memiliki struktur berongga yang mengandung air, logam alkali dan alkali tanah seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} yang dapat dipertukarkan. Ketika zeolit diaktivasi dengan asam maka air akan terhidrasi dan kation-kation dari logam alkali tersebut akan mengalami pertukaran dengan H^+ dari H_3PO_4 sehingga permukaan zeolit menjadi lebih berpori dan semakin asam. Semakin banyaknya jumlah H^+ maka semakin efektif dalam proses pertukaran dengan ion-ion pengotor.



Gambar 2. Interaksi ammonia dan situs asam pada penentuan keasamaan total pada permukaan zeolit

Penentuan keasamaan total pada zeolit dilakukan dengan mengadsorpsi ammonia. Permukaan zeolit yang telah diaktivasi terdapat situs asam dan ketika diinteraksikan dengan ammonia maka terjadi transfer proton dari situs asam Bronsted membentuk NH_4^+ atau melalui transfer pasangan elektron dari molekul adsorbat ke situs asam Lewis. Semakin banyaknya ammonia yang teradsorpsi maka jumlah keasamaan total pada zeolit juga semakin tinggi.

Keasamaan permukaan pada arang batang kesambi teraktivasi karena terbentuknya situs asam Lewis, sehingga dengan adanya molekul amoniak akan terjadi asosiasi dengan situs asam lewis tersebut. Situs asam Lewis berfungsi sebagai akseptor pasangan elektron

bebas terhadap donor elektron yang disumbangkan oleh N dari molekul amoniak yang selanjutnya bergabung dengan asam lewis sehingga permukaan arang menjadi reaktif¹⁰.

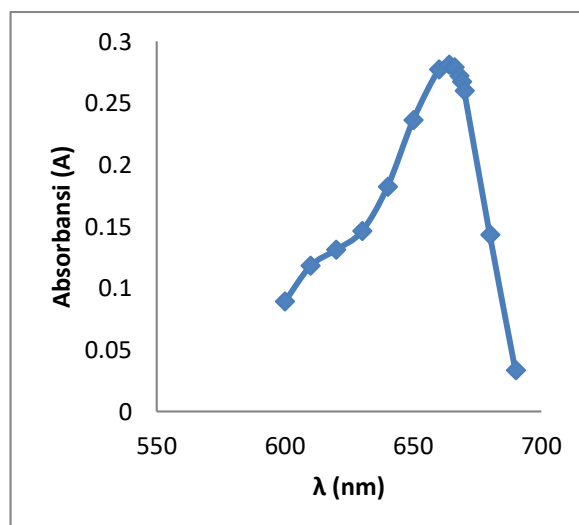
Sedangkan pada zeolit dan arang yang belum diaktivasi keasaman permukaannya relatif rendah, hal ini terjadi dikarenakan pada permukaan adsorben masih ditutupi oleh pengotor dan air sehingga pori dan situs aktif yang terbentuk sedikit menyebabkan daya sorpsi terhadap amoniak juga rendah.

Luas permukaan adsorben

Luas permukaan suatu adsorben sangat penting untuk menentukan kemampuannya dalam proses adsorpsi. Semakin besar luas permukaan suatu adsorben maka semakin banyak juga adsorbat/kontaminan yang terserap hal ini dikarenakan besarnya kontak antara adsorbat dengan situs aktif pada permukaan adsorben. Penentuan luas permukaan dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu penentuan panjang gelombang maksimum, pembuatan kurva standar, penentuan waktu optimum dan penentuan luas permukaan.

Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

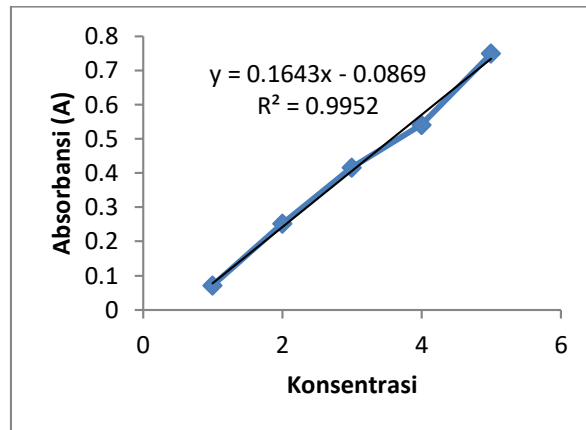
Pada tahap penentuan panjang gelombang maksimum konsentrasi metilen biru yang digunakan yaitu 2 mg/L dan diukur pada panjang gelombang 500-700 nm. Panjang gelombang maksimum yang diperoleh yaitu 664 nm seperti pada Gambar 3. Pada panjang gelombang ini menghasilkan absorbansi terbesar karena energi yang dibutuhkan material untuk tereksitasi dari keadaan dasar ke tingkat tereksitasi paling kecil.



Gambar 3. Kurva panjang gelombang

Penentuan Kurva Standar

Penentuan kurva standar larutan metilen biru dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan standar metilen biru pada variasi konsentrasi 1, 2, 3, 4 dan 5 mg/L dengan panjang gelombang 664 nm dan diperoleh persamaan regresi $y = 0,1643x - 0,0869$. Hasil penentuan kurva standar metilen biru disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva standar larutan metilen biru

Penentuan Luas Permukaan Spesifik

Luas permukaan spesifik sangat berpengaruh pada proses adsorpsi, semakin besar luas permukaan maka daya adsorpsi terhadap adsorbat juga semakin tinggi. Waktu kontak yang digunakan untuk menentukan luas permukaan spesifik adsorben adalah 60 menit. Data luas permukaan spesifik adsorben dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data luas permukaan spesifik adsorben sebelum dan setelah diaktivasi

Adsorben	Luas permukaan spesifik (m ² /g)
Arang sebelum diaktivasi	0,192
Arang teraktivasi H ₃ PO ₄	0,222
Zeolit sebelum diaktivasi	0,151
Zeolit teraktivasi H ₃ PO ₄	0,218
Standar SNI	200-2000

Berdasarkan tabel 3 dapat diketahui, luas permukaan spesifik arang sebelum dan setelah diaktivasi H₃PO₄ yaitu 0,192 m²/g dan 0,222 m²/g sedangkan zeolit sebelum dan setelah diaktivasi H₃PO₄ yaitu 0,151 m²/g dan 0,218 m²/g. Luas permukaan spesifik arang dan zeolit setelah diaktivasi lebih besar dibandingkan yang tidak diaktivasi dengan H₃PO₄, hal ini karena aktivator yang digunakan mampu mengikat, melarutkan pengotor serta air sehingga

pori-pori yang dihasilkan meningkat dan mengaktifkan situs-situs aktif pada permukaan adsorben sehingga luas permukaan spesifiknya juga bertambah dan daya serap terhadap metilen biru juga besar. Nilai luas permukaan spesifik yang diperoleh baik sebelum dan setelah diaktivasi belum memenuhi standar SNI, hal ini dipengaruhi oleh penggunaan konsentrasi dan volume metilen biru yang terlalu kecil yaitu 4 ppm dan 10 mL. Menurut Damayanti *et al* (2020) semakin tinggi konsentrasi metilen biru yang digunakan, maka semakin besar nilai absorbansi karena semakin banyak sinar UV dari spektrofotometri yang dapat diserap oleh molekul-molekul dalam larutan sehingga luas permukaannya meningkat¹¹.

Karakteristik Pelumas

Pelumas yang digunakan dalam jangka waktu yang lama pada suhu tinggi akan mengalami perubahan fisika dan kimia karena hadirnya kontaminan yang mengakibatkan penurunan kualitas dan kinerja pelumas. Karakteristik pelumas bekas dapat ditingkatkan dengan melakukan proses adsorpsi.

Massa jenis pelumas bekas setelah diadsorpsi dengan adsorben arang aktif dan zeolit alam aktif

Pengaruh variasi massa adsorben terhadap massa jenis dari pelumas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data massa jenis pelumas

Massa adsorben (g)	Massa jenis (g/cm ³)				
	Pelumas baru	Pelumas bekas	AA	ZAE	AA-ZAE
0,5			0,838	0,838	0,836
0,66	0,846	0,842	0,838	0,838	0,836
1			0,838	0,838	0,836
2			0,838	0,838	0,836

AA = arang aktif, ZAE = zeolit aktif

AA-ZAE = arang aktif dilanjutkan dengan zeolit aktif

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa nilai massa jenis untuk variasi massa relatif sama, hal ini berarti massa tidak berpengaruh secara signifikan pada nilai massa jenis pelumas. Massa jenis minyak dipengaruhi oleh komposisi senyawa kimia minyak. Data dari Tabel 4 dapat diketahui massa jenis dari pelumas baru 0.846 g/cm³ lebih besar dari massa jenis pelumas bekas 0.842 g/cm³ dan pelumas hasil adsorpsi 0.838 g/cm³ dan 0.836 g/cm³,

hal ini karena pelumas baru tersusun dari minyak dasar yang memiliki rantai karbon panjang dan zat additif yang ditambahkan yang memiliki ukuran berat molekul yang besar dengan tujuan untuk meningkatkan kekentalan dan kinerja pelumas sehingga massa jenis pelumas menjadi lebih besar. Sedangkan pelumas bekas memiliki massa jenis yang lebih rendah dari pelumas baru dan lebih besar dari pelumas hasil adsorpsi, hal ini dikarenakan selama proses operasional pelumas mengalami degradasi termal dan oksidasi sehingga menyebabkan pemutusan rantai karbon juga hadirnya kontaminan seperti partikel aus logam, residu karbon, asam serta senyawa jenuh lainnya¹² (Salem *et al.*, 2014). Selain itu juga karena pelumas telah terkontaminasi minyak ringan/komponen mudah menguap, bahan bakar yang digunakan dan air yang sebabkan oleh kebocoran sistem pendingin atau karena air hujan sehingga mengakibatkan penurunan nilai massa jenis pelumas bekas¹³. Pelumas hasil adsorpsi memiliki massa jenis yang kecil karena kontaminan seperti logam, lumpur, asam, molekul kecil, air dan kontaminan lainnya telah teradsorpsi sehingga nilai massa jenis pelumas menjadi berkurang. Nilai densitas dengan variasi massa pada penelitian ini tidak mengalami perubahan yang signifikan sama seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Lathifah *et al* (2019) menggunakan bentonit teraktivasi asam⁶, hal yang sama juga diperoleh Sonjaya dan Rahmasari *et al* (2019) yang menggunakan adsorben karbon aktif, pasir silika dan bentonit dalam proses adsorpsi kontaminan pada pelumas bekas⁵.

Viskositas kinematik pelumas bekas setelah diadsorpsi dengan adsorben arang aktif dan zeolit alam aktif

Perbandingan variasi massa adsorben terhadap viskositas kinematik dan massa jenis dari pelumas dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data viskositas kinematik pelumas

Massa Adsorben (g)	Viskositas kinematik pelumas (cSt)				
	Pelumas baru	Pelumas bekas	AA	ZAE	AA-ZAE
0,5			103,87	113,59	96,58
0,66	167,83	74,98	128,84	107,91	92,02
1			123,01	101,71	100,44
2			106,64	98,49	106,38

AA = arang aktif, ZAE = zeolit aktif

AA-ZAE = arang aktif dilanjutkan dengan zeolit aktif

Arang aktif merupakan adsorben yang memiliki nilai viskositas kinematik terbaik yaitu 128,84 mm²/s dengan massa optimum arang aktif adalah 0,66 gram seperti pada Tabel 5. Persentase efisiensi kenaikan nilai viskositas kinematik yang diperoleh adalah sebesar 71,83%. Hal ini karena arang aktif memiliki ukuran pori yang lebih kecil, luas permukaan yang

besar dan arang juga bersifat hidrofilik. Menurut Rahmadhanar *et al* (2020) arang yang diaktivasi dengan H_3PO_4 cenderung bersifat polar¹⁴ sehingga mampu mengikat kontaminan seperti air, asam, logam berat, senyawa-senyawa oksida berwarna coklat kehitaman yang bersifat polar¹⁵ dan senyawa polar lainnya yang terdapat di dalam pelumas.. Struktur atom karbon pada arang yang membentuk kisi heksagonal memungkinkan pengotor terperangkap didalamnya dan tidak dapat lepas lagi¹¹. Pelumas yang diadsorpsi menggunakan arang memiliki warna yang lebih gelap dibandingkan dengan menggunakan zeolit hal ini karena sisa karbon berukuran kecil yang berasal dari arang lolos sehingga bercampur dengan pelumas.

Zeolit alam teraktivasi H_3PO_4 memiliki nilai viskositas kinematik terbaik yaitu 113,59 mm^2/s dengan massa optimum 0,5 gram. Persentase efisiensi kenaikan nilai viskositas kinematik yang diperoleh adalah sebesar 51,49%. Hal ini karena zeolit memiliki ukuran pori yang besar dan berongga. Selain itu karena permukaan zeolit bermuatan negatif sehingga mampu mengikat pengotor yang bermuatan positif seperti logam untuk menstabilkan muatannya. Menurut Muttaqi *et al* (2019) zeolit yang teraktivasi asam, rasio Si/Al-nya meningkat sehingga zeolit lebih bersifat hidrofobik dan mampu mengikat kontaminan seperti lumpur, zat additif, minyak ringan juga senyawa non polar lainnya yang terdapat di dalam pelumas¹⁶.

Viskositas kinematik terbaik untuk adsorpsi berlanjut arang dan zeolit teraktivasi adalah 106,38 mm^2/s dengan massa optimum yaitu 2 gram. Persentase efisiensi kenaikan nilai viskositas kinematik yang diperoleh adalah sebesar 41,87%. Nilai viskositas pelumasnya lebih rendah dibandingkan dengan arang aktif dan zeolit aktif, hal ini dikarenakan ketika arang yang telah mengadsorpsi pengotor ketika dilanjutkan dengan adsorben zeolit maka pengotor pada arang yang berukuran kecil akan lolos dan masuk kedalam rongga zeolit sehingga permukaan pori dari zeolit tertutup menyebabkan adsorbat yang terserap menjadi berkurang.

Perbandingan nilai viskositas kinematik oli baru lebih tinggi (167,83 cSt) dari pada oli bekas (74,98 cSt) dan oli hasil adsorpsi, hal ini karena komponen penyusun pelumas seperti minyak dasar yang memiliki rantai karbon panjang dan zat additif yang ditambahkan dengan tujuan untuk meningkatkan kekentalan dan kinerja pelumas. Sedangkan pelumas bekas memiliki nilai viskositas yang relatif rendah hal ini karena terjadinya degradasi termal dan oksidasi sehingga menyebabkan pemutusan rantai karbon juga hadirnya kontaminan seperti air, logam, residu karbon, abu, gusi, lumpur dan pernis sehingga pelumas menjadi encer yang mengakibatkan penurunan nilai viskositas kinematik pelumas.

Variasi massa mempengaruhi nilai viskositas kinematik, arang dan zeolit aktif memiliki massa optimum berturut-turut 0,66 gram dan 0,5 gram. Nilai viskositas pelumas menurun ketika massa adsorben dinaikkan. Hal ini karena proses adsorpsi yang merupakan adsorpsi fisik dengan ikatan yang relatif lemah sehingga ketika adsorben jenuh/melewati batas setimbang maka adsorbat akan mudah terlepas dan masuk kembali kedalam pelumas

mengakibatkan nilai viskositas dari pelumas menurun. Sedangkan pada penggunaan berlanjut arang dan zeolit massa optimumnya adalah 2 gram. Nilai viskositas kinematik pelumasnya semakin meningkat ketika massa adsorben ditambahkan, hal ini karena digunakan dua jenis adsorben yang berbeda sehingga dibutuhkan lebih banyak lagi massa adsorben dalam proses adsorpsi untuk mencapai kesetimbangan.

Peningkatan viskositas kinematik hasil adsorpsi dengan menggunakan arang aktif dan zeolit aktif mengalami perubahan yang signifikan^{6&15}. Viskositas kinematik pelumas bekas hasil adsorpsi menggunakan lempung oleh Mara dan Kurniawan (2015) adalah 13,08 cSt dari viskositas pelumas bekas yaitu 17,27 cSt¹⁵ dan mendekati nilai viskositas *lube base oil* yaitu 13,39 cSt, sedangkan Lathifah *et al* (2019) menggunakan bentonit teraktivasi asam dengan persentase efisiensi kenaikan viskositas kinematik sebesar 49,15% yaitu dari 73,74 cSt menjadi 109,92 cSt dan mendekati nilai viskositas kinematik standar 116,35 cSt⁶. Dibandingkan dengan yang diperoleh Lathifah *et al* (2019), persentase efisiensi kenaikan viskositas kinematik yang diperoleh lebih besar yaitu 71,83% menggunakan arang aktif dan 51,49% menggunakan zeolit aktif. Sedangkan untuk penggunaa berlanjut arang aktif dan zeolit aktif persen kenaikan viskositas kinematik tidak terlalu tinggi dibandingkan menggunakan arang aktif dan zeolit aktif yaitu sebesar 41,83%.

Kesimpulan

Nilai kadar abu, keasaman permukaan dan luas permukaan adsorben arang batang kesambi dan zeolit alam Ende setelah diaktivasi dengan H₃PO₄ mengalami peningkatan. Penggunaan variasi massa adsorben tidak berpengaruh terhadap perubahan nilai massa jenis pelumas hasil adsorpsi akan tetapi menunjukkan perubahan yang signifikan pada nilai viskositas kinematik pelumas hasil adsorpsi.

Daftar Pustaka

1. Hendra, D., Wulanawati, A., Gustina, K., Wibisono, H. S. 2015. Pemanfaatan Arang Aktif Cangkang Buah Bintaro (*Cerbera manghas*) sebagai Adsorben pada Peningkatan Kualitas Air Minum. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 33(3) : 181-191.
2. Boadu, K. O., Joel, O. F., Essumang, D. K. And Evbuomwan, B. O. 2019. A Review Of Methods For Removal Of Contaminants In Used Lubricating Oil. *Chemical Science International Journal*. 26(4) : 1-11.
3. Hajrah., Rusla., Prismawiryanti. 2018. Pemanfaatan Karbon Aktif Biji Kelor (*Moringa oleifera*) sebagai Penyerap Logam Timbal dalam Oli Bekas. *Jurnal Riset Kimia*, 4(3) : 297-303.
4. Siskayanti, R., Kosim, M. E., Riawan, D. 2020. Efektifitas Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dalam Mengadsorpsi Logam Fe pada Pelumas Motor Bekas Pakai. *Jurnal Teknik Kimia*, 5(2) : 108-115.
5. Sonjaya, A. N dan Rahmasari, F. 2019. Pengujian Pelumas Bekas SAE 15W-40 API CI-4. *Jurnal Teknologi*, 7(1) : 76-85.

6. Lathifah, T., Yuliani, N., Ayu, G. 2019. Bentonit Teraktivasi Asam Sulfat Sebagai Adsorben Dalam Pemurnian Pelumas Bekas. *Jurnal Sains Natural*. 9(1) : 1-10.
7. Kemala, D., Moersidik, S. S., Adityosulindro, S., Hilwa, F. 2019. Enhancing Lead Adsorption In Waste Lubricant Oil With Activated Clay As Bleaching Earth. *MATEC Web Of Conferences* 276 : 1-7.
8. Prasaji, R., Dewita, C. U., Santosa, H. 2013. Pemanfaatan Kombinasi Fly Ash Batubara, Alkilbenzene Sulfonat dan Zeolit pada Penjernihan Minyak Pelumas Bekas dengan Metode Penjerapan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(4) : 1-7.
9. Nugrahaningtyas, K. D dan Widjonarko, D. M. 2016. Kajian Aktivasi H₂SO₄ Terhadap Proses Pemiliran Al₂O₃ Pada Lempung Alam Pacitan. *Jurnal Penelitian Kimia*, 12(2) : 190-203.
10. Widihati, I. A. G., Ratnayani, O dan Angelina, Y. 2010. Karakterisasi Keasaman dan Luas Permukaan Tempurung Kelapa Hijau (*Cocos nucifera*) dan Pemanfaatannya sebagai Biosorben Ion Cd²⁺. *Jurnal Kimia*, 4 (1) : 7-14.
11. Damayanti, N. A., Selintung, M., Zubair, A. 2016. Perbandingan Efektivitas Arang Tempurung Kelapa dan Zeolit Alam Teraktivasi dalam Penjernihan Minyak Goreng Bekas.
12. Salem, S., Salem, A., Babaei, A. A. 2014. Application of Iranian Nano-Porous Ca-Bentonite for Recovery of Waste Lubricant Oil by Distillation and Adsorption Techniques. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 1-9.
13. Udonne, J. D., Efevbokhan, V. E., Ayoola, A. A., Babatude, D. E., Ifeoluwa, A and Ajalo, I. J. 2016. Recycling Used Lubricating Oil Using Untreated, Activated and Calcined Clay Methods. *Journal Of Engineering and Applied Sciences*, 11(6) : 1396-1401.
14. Rahmadhaniar. A., Nugrahani, R.A., Fithriyah, N. H., Lestariningsih, T. 2020. Lead Adsorption in Lubricant Waste Using Zeolite. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(1) : 1-7.
15. Mara, I. M., Kurniawan, A. 2015. Analisa Pemurnian Minyak Pelumas Bekas Dengan Metode Acid And Clay. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*, 5(2) : 106-112.
16. Muttaqi, M. A., Birawidha, D. C., Isnugroho, K., Amin, M., Hendronursito, Y., Istiqomah, A. D., Dewangga, D. P. 2019. Pengaruh Aktivasi Secara Kimia Menggunakan Larutan Asam dan Basa Terhadap Karakteristik Zeolit Alam. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 13(2) : 266-271.