

Studi Sifat Fisik dan Tribologi dari Minyak Kelapa dan Minyak Sawit Sebagai Zat Aditif

Dedison Gasni^{1,*}, Ismet Hari Mulyadi¹, Jon Affi¹ dan Muhammad Arif¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, 25163, Padang, Indonesia

*email : dedison.gasnisseff@yahoo.co.uk

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui effek dari penambahan minyak kelapa dan minyak sawit sebagai zat aditif pada minyak pelumas SAE 40 terhadap sifat fisik dan tribologi. *Vegetabel oil*, seperti; minyak kelapa dan minyak kelapa sawit, memiliki nilai viskositas indek yang tinggi dan memiliki sifat pelumasan yang baik terutama didaerah *boundary lubrication* jika dibandingkan dengan mineral oil. Hal ini disebabkan *vegetabel oil* memiliki kandungan *fatty acids* yang tidak dimiliki oleh mineral oil. Disamping itu minyak kelapa dan minyak kelapa sawit memiliki sifat yang ramah lingkungan karena mudah terurai dialam dan sifatnya yang dapat diperbarui. Pada penelitian ini sifat yang baik dari minyak kelapa dan minyak kelapa sawit ini akan dimanfaatkan sebagai zat aditif pada minyak pelumas SAE 40. Pengujian dilakukan terhadap sifat fisik dan tribologi dengan penambahan 5%, 10%, 15%, dan 20% berat dari minyak kelapa dan minyak sawit kedalam minyak pelumas SAE 40. Ada 3 jenis minyak kelapa yang digunakan berdasarkan proses basah dan kering; minyak tanak, virgin dan kopra. Pengujian sifat fisik terdiri dari pengukuran viskositas pada temperatur 40°C dan 100°C dan viskositas index. Pengujian sifat tribologi untuk menentukan keausan dan koefisien gesek berdasarkan ASTM G99 dengan menggunakan alat uji pin on disk. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa dengan penambahan minyak kelapa dan minyak sawit kedalam minyak pelumas SAE 40 terjadi peningkatkan viskositas index rata-rata sebesar 6% dan sebaliknya terjadi penurunan nilai viskositas kinematik rata-rata sebesar 8-20 %. Sedangkan untuk sifat tribologi, terjadi peningkatan nilai koefisien gesek dan scar diameter dengan penambahan minyak kelapa dan sawit.

Kata kunci : Koefisien gesek, pelumas, minyak kelapa, minyak sawit, tribologi, pin on disk.

Pendahuluan

Pelumas selain berfungsi sebagai lapisan yang memisahkan dua komponen mesin yang mengalami kontak langsung, seperti pada bantalan dan roda gigi, untuk mengurangi gesekan dan keausan, juga berfungsi sebagai media untuk mendinginkan mesin, membawa debri atau kotoran, dan mencegah korosi dari dua permukaan yang berkontak. Pada saat ini ada beberapa jenis pelumas yang beredar dipasaran, seperti mineral oil, minyak sintetik, dan *biolubricant*. Sekitar 80% dari minyak pelumas yang beredar dipasaran, merupakan *mineral oil* yang didapat dari hasil penyulingan minyak bumi, 8% berasal dari minyak sintetis, dan hanya sebahagian kecil dari minyak pelumas tersebut yang berasal dari minyak nabati. Minyak pelumas terdiri dari 80-90 % base oil dan 10-

20% merupakan zat aditif [1]. Hal ini mengakibatkan pemakaian minyak mineral oil dan sintetis semakin meningkat, sehingga pencemaran terhadap lingkungan akan terus berlanjut sehubungan dengan sifat dari mineral oil dan minyak sintetis bersifat racun pada lingkungan. Disamping itu sifat pelumas yang berasal dari *mineral oil* tidak dapat diperbarui, sehingga sumber dari mineral oil ini akan habis [2,3]. Untuk itu perlu dilakukan usaha untuk mengurangan pemakaian dari pelumas berbahan *mineral oil* sebagai minyak dasar dan zat aditif untuk pembuatan pelumas. Sebagai bahan penganti dari pemakain *mineral oil* ini dapat menggunakan *vegetable oil*. Pemanfaatan *vegetable oil* ini sebagai bahan pelumas lebih menguntungkan diantaranya ramah lingkungan, dapat diperbarui, memiliki viskositas indek yang tinggi, dan

sifat pelumasan yang baik terutama di daerah *boundary lubrication* [4] dan mudah larut dengan zat aditif [6].

Sumatera Barat memiliki sumber *vegetable oil* yang melimpah seperti: minyak kelapa dan minyak sawit yang ditanam oleh perkebunan rakyat maupun perkebunan industri. Pada saat ini pemanfaatan *vegetable oil* tersebut masih terbatas untuk kosmetik, obat-obatan, dan makanan. Sebenarnya, pemanfaatan *vegetable oil* sebagai bahan pelumas telah lama digunakan oleh masyarakat dalam kehidupan sehari-hari, tetapi bukti secara eksperimental mengenai sifat pelumasan atau tribologi belum banyak dilakukan. Dalam pembuatan minyak pelumas, *vegetable oil* dapat digunakan sebagai base oil dan sebagai zat aditif. Pemakaian *vegetable oil* sebagai zat aditif telah dilakukan oleh M. A. Kalam dkk [6] dengan menggunakan minyak *Jatropha* sebagai zat aditif dan minyak mineral oil (SAE 40) sebagai base oil. Presentase dari komposisi penambahan minyak *Jatropha* akan mengakibatkan terjadinya perubahan sifat fisik dan tribologi dari pelumas tersebut. Hal ini disebabkan oleh adanya kandungan *fatty acid* yang terdapat dalam *vegetable oil* yang memiliki viskositas yang tinggi [7, 4].

Pada penelitian ini minyak kelapa dan minyak sawit akan dimanfaatkan sebagai zat aditif untuk minyak mineral oil SAE 40. Ada tiga jenis minyak kelapa yang digunakan, berdasarkan proses pembuatan, yaitu proses basah dan proses kering. Presentase dari

penambahan minyak kelapa pada minyak mineral oil divariasikan dan diamati bagaimana pengaruhnya terhadap sifat fisik dan sifat tribologinya. Pengujian sifat fisik terdiri dari: pengujian viskositas pada temperatur 40 °C dan 100 °C dan viskositas index. Sifat tribologi terdiri dari uji keausan, pengukuran scar diameter, dan koefisien gesek.

Metode Penelitian

Persiapan Sampel dari Minyak Kelapa, Minyak Sawit, dan Oli SAE 40

Sampel dari minyak kelapa diperoleh dengan proses basah dan proses kering. Proses basah diperoleh dari santan kelapa sehingga akan menghasilkan minyak virgin oil dengan cara fermentasi secara alamiah selama 24 jam dan minyak tanak diperoleh dengan cara santan yang telah diperoleh kemudian dipanaskan sehingga terbentuk minyak, sedangkan proses kering diperoleh dari kopra yang dihaluskan dan dilanjutkan dengan pemanasan dengan suhu 100°C selama 30 menit kemudian di press dengan mesin press hidrolik sehingga mengasilkan minyak kopra. Sedangkan untuk minyak kopra komersil dan minyak sawit diperoleh dari toko P dan D. Sedangkan oli SAE 40 diperoleh dari oli yang dijual secara komersil dipasaran. Tabel 1 memperlihatkan perbandingan sifat fisik antara minyak kelapa, minyak sawit dan oli SAE 40.

Tabel 1 Perbandingan sifat fisik dari minyak kelapa, minyak sawit [8] dan oli SAE 40 [9].

No	Sifat Fisik dan Kimia	Tanak	Minyak Kelapa			Minyak Sawit	Oli SAE 40
			Virgin	Kopra	Kopra komersil		
1	Viskositas @ 40 °C(cSt)	26,44	25,82	25,35	26,58	40,01	133,4
	Viskositas @ 100 °C (cSt)	5,391	5,644	5,754	5,76	8,931	13,66
2	Viskositas Index	144	168	181	178	213	98
3	Flash Point (°C)	307,5	309,5	309,5	303,5	305,5	242
4	Pour Point (°C)	21	21	21	21	6	-9
5	Densitas (Kg/m ³)	926,2	925,7	925,7	925,6	915,4	895

Pencampuran Minyak Kelapa dan Minyak Sawit Dengan Oli SAE 40

Pencampuran minyak kelapa dan minyak sawit dengan oli SAE 40 ini dilakukan

dengan penambahan persentase masing-masing 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat minyak kelapa dan minyak sawit kedalam oli SAE 40 dengan berat masing-masing 95%,

90%, 85% dan 80%. Kedua minyak dicampur kedalam gelas ukur dan kemudian diaduk selama 10 menit.

Analisis Sifat Fisik

Analisis sifat fisik dari minyak pelumas terdiri dari viskositas dan viskositas index. Viskositas dari sample minyak pelumas ditentukan pada temperatur 40 °C dan 100 °C. Viskositas pada temperatur 40 °C dan 100 °C dilakukan berdasarkan ASTM D445-14 menggunakan Capillary Viscometer 200-629A dan Capillary Viscometer 100-S2X. The viscosity index (VI) dihitung berdasarkan ASTM D2270-04.

Pengujian Keausan dan Koefisien Gesek

Pengujian keausan dan koefisien gesek dilakukan dengan menggunakan alat uji *pin on disk* berdasarkan standar ASTM G99. Alat uji pin on disk ini dapat digunakan untuk menentukan *wear volume* dari pin dan disk akibat terjadinya gerak relatif antara pin dan disk. Scar diameter yang terbentuk diukur melalui hasil foto tektur permukaan dengan menggunakan mikroskop optik. Koefisien gesek dapat ditentukan dengan mengukur gaya gesek dengan menggunakan load cell yang dipasang pada lengan *flexibel*. Material dari disk terbuat dari besi alloy dengan komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 2. Diameter dari disk sebesar 100 mm dengan kekerasan sebesar 449.5 BHN dan kekasaran permukaan dari disk adalah sekitar 1,04 µm Ra.

Tabel 2 Komposisi kimia dari material disk

Komp.	Fe (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)
%	98.18	0.129	0.323	0.959	0.195

Komposisi kimia dari material pin dapat dilihat pada Tabel 3 dengan kekerasan dari pin sebesar 660.5 BHN dan diameter dari pin sebesar 5 mm. Komposisi kimia dari material pin dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Komposisi kimia dari material pin

Komp.	Fe (%)	C (%)	Si (%)	Cr (%)
%	95.05	3.07	0.24	1.63

Hasil dan Diskusi

Pengujian telah dilakukan pada 20 sampel dari minyak pelumas dengan variasi persentase minyak kelapa dan minyak sawit masing-masing sebesar 5%, 10%, 15% dan 20%. Selanjutnya, 20 sample minyak pelumas tersebut dilakukan pengujian, yang terdiri dari pengujian sifat fisik, viskositas dan viskositas index, dan pengujian sifat tribologi, yang terdiri dari wear, pengukuran scar diameter dan koefisien gesek dinamik yang terjadi antara pin dan disk.

Pengaruh Persentase Penambahan Minyak Kelapa dan Minyak Sawit pada SAE 40 terhadap Viskositas

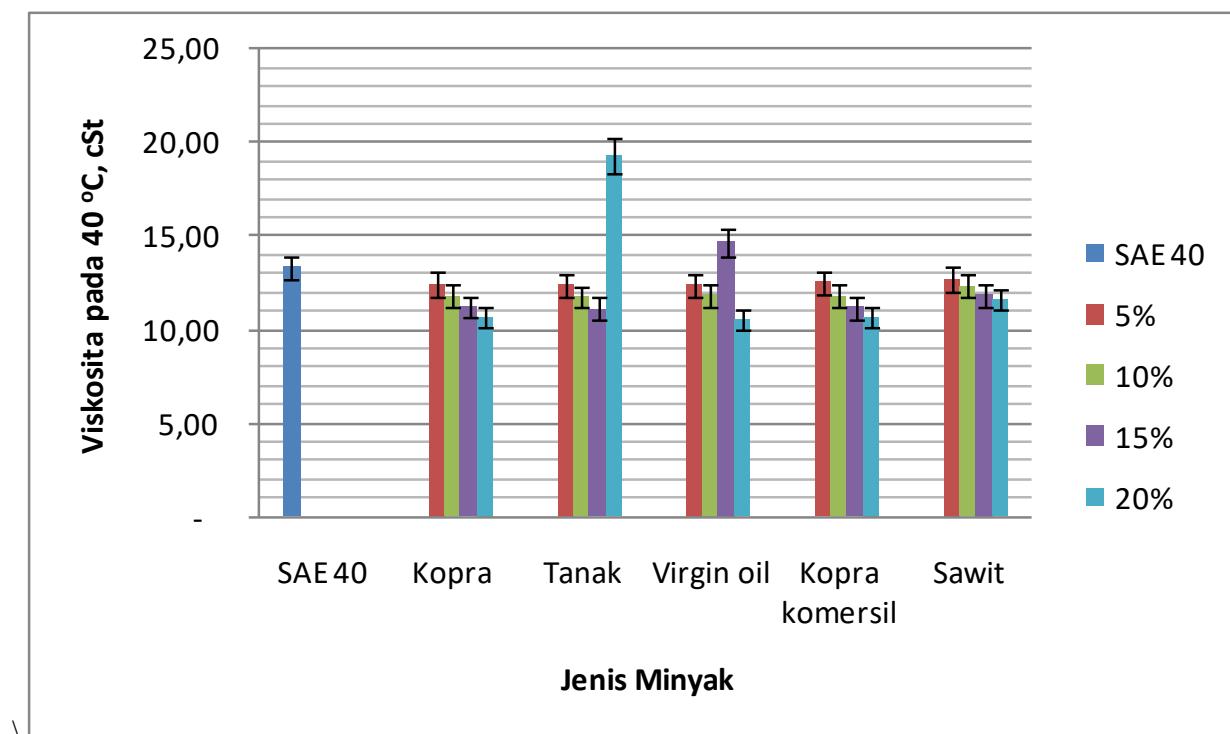
Viskositas sangat berpengaruh pada pelumasan terutama didaerah elastohydrodynamic lubrication karena nilai viskositas akan mempengaruhi tebal dan tipisnya lapisan yang memisahkan antara dua material yang berkontak. Jika tebal lapisan film yang memisahkan dua permukaan yang berkontak semakin tebal akan mencegah terjadinya kontak antara dua permukaan sehingga keausan dapat dihindari, tetapi jika tebal lapisan film sangat tipis akan mengakibatkan keausan pada bagian yang berkontak. Hasil dari pengujian viskositas kinematik pada temperatur 40°C dan 100°C dari penambahan minyak kelapa dan minyak sawit pada SAE 40 dengan variasi masing-masing sebanyak 5%, 10%, 15%, dan 20% dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2. Secara umum dengan penambahan minyak kelapa dan minyak sawit pada SAE 40 mengakibatkan penurunan viskositas pada temperatur 40°C dan 100°C, kecuali pada penambahan minyak tanak 20% pada temperatur 40°C dan penambahan virgin oil 15% pada temperatur 40°C dan 100°C. Penurunan viskositas terendah terjadi pada penambahan minyak sawit.

Pengaruh Persentase Penambahan Minyak Kelapa dan Minyak Sawit pada SAE 40 terhadap Viskositas Index

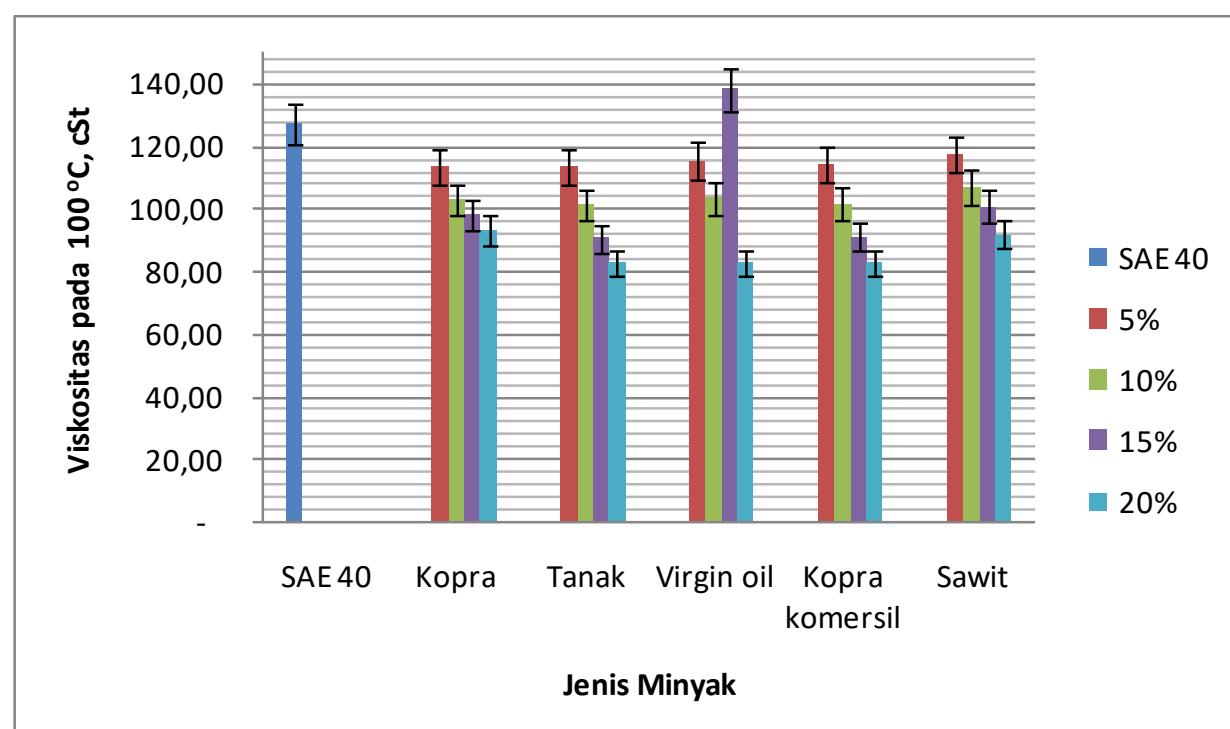
Gambar 3 memperlihatkan grafik variasi dari penambahan minyak kelapa dan minyak sawit dengan SAE 40 terhadap viskositas

index. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa dengan penambahan minyak kelapa dan minyak sawit dengan variasi masing-masing sebanyak 5%, 10%, 15%, dan 20% akan menyebabkan peningkatan viskositas index.

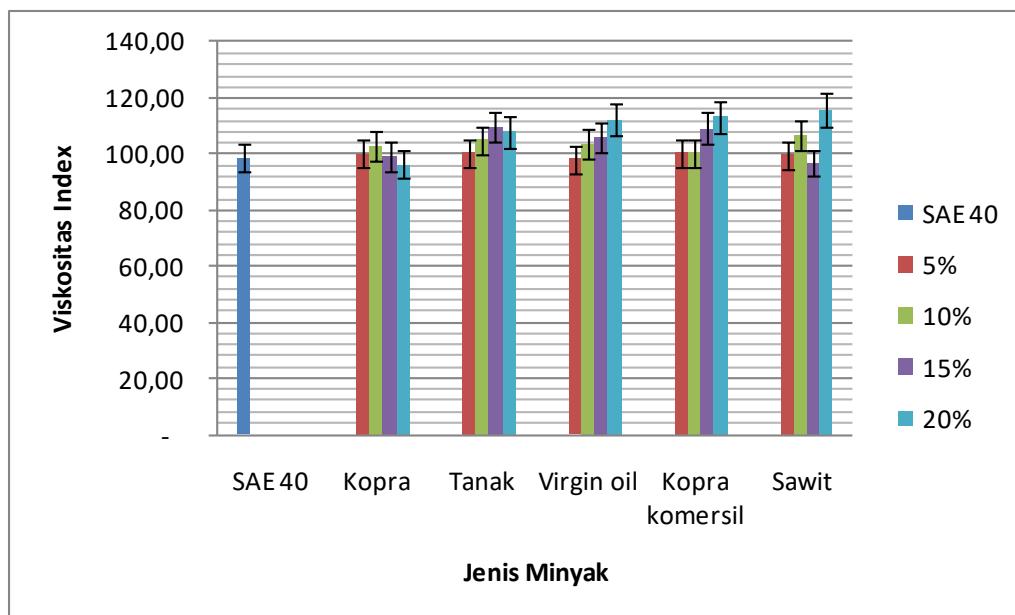
Rata-rata terjadi peningkatan nilai viskositas indeks dari minyak campuran dengan meningkatnya prosentase penambahan minyak kelapa dan minyak sawit.



Gambar 1 Grafik perbandingan variasi persentase penambahan minyak kelapa dan minyak sawit pada SAE 40 terhadap viskositas pada 40°C.



Gambar 2 Grafik perbandingan variasi persentase penambahan minyak kelapa dan minyak sawit pada SAE 40 terhadap viskositas pada 100°C

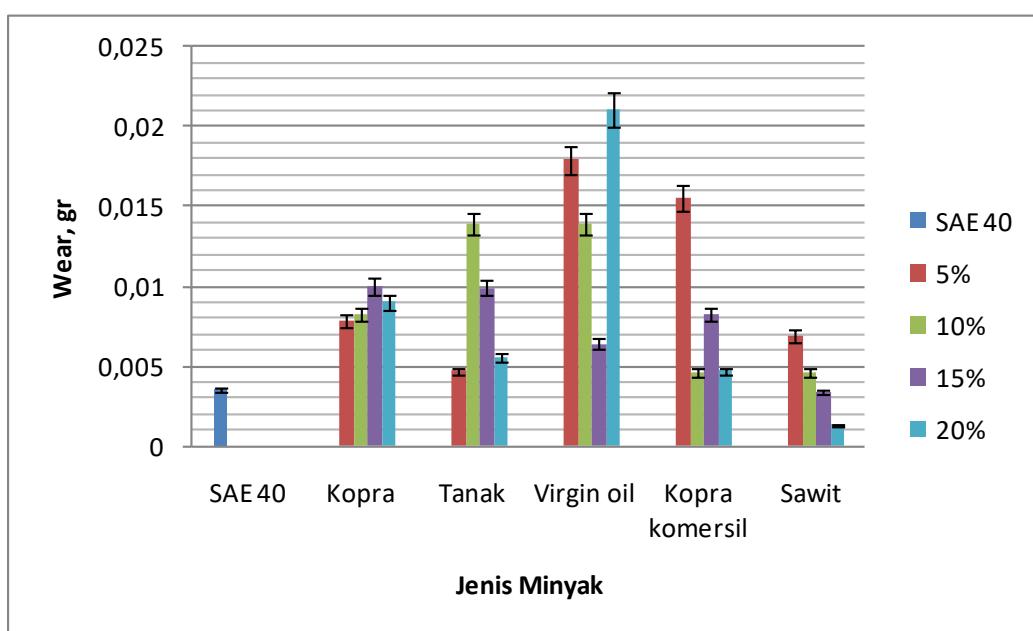


Gambar 3 Grafik perbandingan variasi persentase penambahan minyak kelapa dan minyak sawit pada SAE 40 terhadap viskositas index.

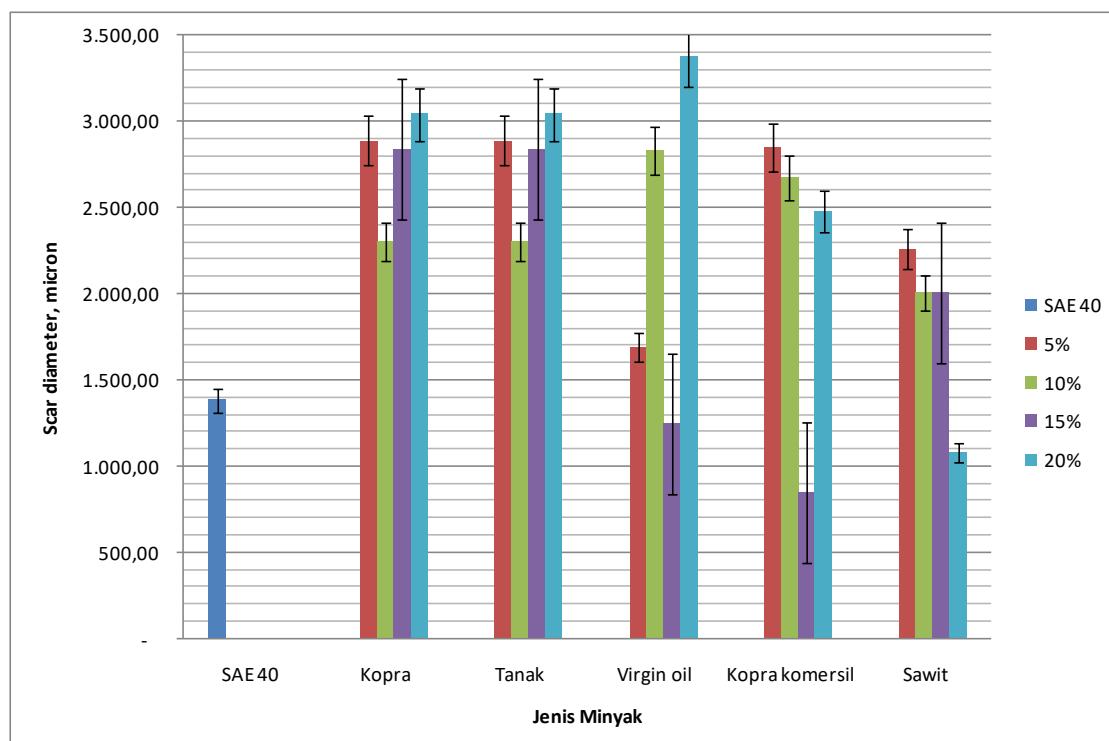
Pengaruh Persentase Penambahan Minyak Kelapa dan Minyak Sawit pada SAE 40 Terhadap Keausan Pin dan Disk

Hasil pengujian keausan dengan menggunakan alat uji keausan *pin on disk* dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. Pada Gambar 4 memperlihatkan keausan dari pin dan disk dan Gambar 5 memperlihatkan *scar diameter* dari pin dengan variasi penambahan prosentase minyak kelapa dan minyak sawit dengan presentase masing-masing 5%, 10%,

15 % dan 20%. Secara umum dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa keausan dari pin dan disk dengan menggunakan semua variasi penambahan minyak kelapa lebih tinggi jika dibandingkan dengan keausan dengan menggunakan SAE 40. Hanya minyak sawit dengan penambahan persentase 20% memperlihatkan keausan pin dan disk yang lebih rendah dari SAE 40. Keausan yang tertinggi terjadi pada pin dan disk terjadi pada penambahan virgin oil sebesar 20%.



Gambar 4 Grafik perbandingan data keausan pin dan disk dengan variasi penambahan minyak kelapa dan minyak sawit dengan beban 30 N dengan kecepatan putaran disk 1200 rpm selama 30 menit



Gambar 5 Grafik perbandingan scar diameter dari pin dengan variasi penambahan minyak kelapa dan minyak sawit dengan beban 30 N dengan kecepatan putaran disk 1200 rpm selama 30 menit

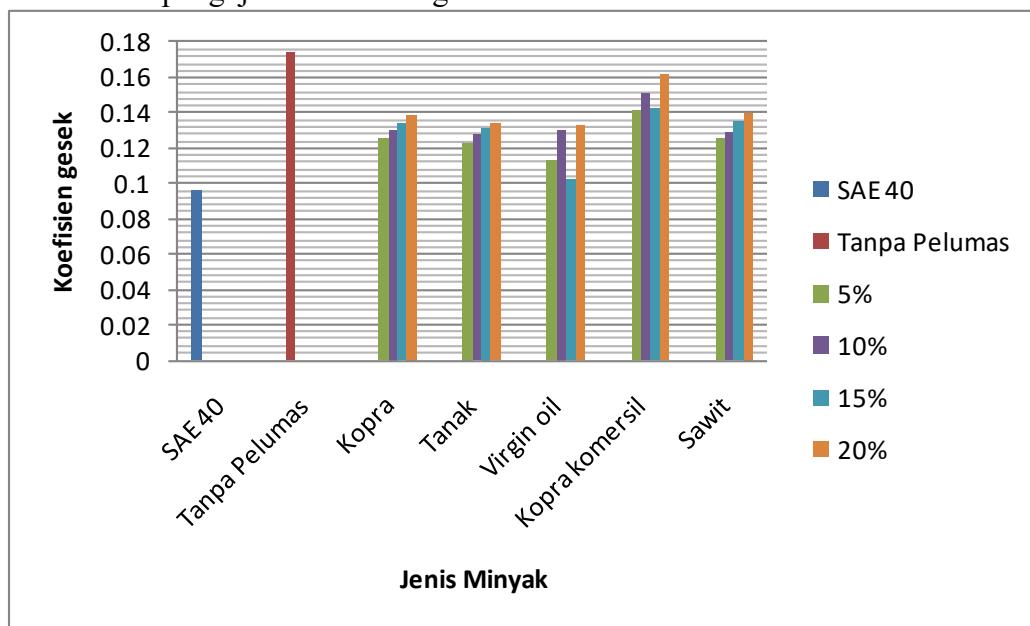
Gambar 5 memperlihatkan *scar diameter* dari pin untuk beberapa variasi dari minyak dengan prosentase yang berbeda-beda. *Scar diameter* terbesar pada pin terjadi pada penambahan minyak kopra sebanyak 20 % (3041,4 μm), sedangkan nilai *scar diameter* minimum pada pin yang terjadi adalah pada penambahan minyak kopra komersil sebanyak 15% (845,44 μm). Jika dibandingkan dari nilai wear volume dan *scar diameter* pada pin dan disk, terdapat beberapa hasil data *scar diameter* yang lebih kecil dari SAE 40, namun *wear volume* lebih besar dari SAE 40. Data yang paling signifikan ditunjukkan pada data *scar diameter* penambahan minyak kopra komersil sebanyak 15% untuk pin, dan data *scar diameter* penambahan minyak sawit sebanyak 20% untuk disk. Meskipun data koefisien gesek yang didapatkan dari pengujian menunjukkan nilai yang lebih besar dari SAE 40, tetapi *scar diameter* nya lebih kecil dari SAE 40.

Pengaruh Persentase Penambahan Minyak Kelapa dan Kelapa Sawit Pada SAE 40 Terhadap Koefisien Gesek Statik

Data koefisien gesek didapat dengan melakukan pengujian dengan

menggunakan alat uji *pin on disk*, dengan beban sebesar 30 N. Hasil data yang diperoleh dari pengujian dapat dilihat pada Gambar 6. Pada grafik terlihat bahwa pada koefisien gesek yang tanpa menggunakan pelumas memiliki nilai koefisien gesek yang paling tinggi yaitu dengan nilai 0,169. Koefisien gesek yang paling rendah terjadi pada pengujian dengan menggunakan oli SAE 40 yaitu sebesar 0,093. Koefisien gesek dengan menggunakan minyak kelapa paling rendah terjadidengan menggunakan *virgin oil* dengan persentase 15% dan paling tinggi dengan minyak kopra dengan persentase 20%.

Dari grafik juga dapat dilihat berdasarkan dengan jenis minyak yang sama maka akan meningkat nilai koefisien gesek dari persentase rendah ke persentasenya tinggi, terkecuali pada *virgin oil*. Hal ini dapat dibandingkan dengan jenis minyak yang sama pada nilai viskositasnya yang tingi maka nilai koefisien geseknya akan rendah. Tetapi nilai koefisien gesek yang didapat tidak terlalu mengalami perubahan yang signifikan antara minyak yang telah diuji.



Gambar 6 Grafik perbandingan koefisien gesek statik dengan penambahan minyak kelapa dan minyak sawit sebesar 5%, 10%, 15%, 20% dengan beban 30 N

Pembahasan dan Diskusi

Berdasarkan data hasil pengujian yang telah dijelaskan pada sub-bab di atas dan data lengkap yang telah didapatkan dimana terlihat adanya perubahan nilai viskositas kinematik dan viskositas index dari minyak hasil campuran antara penambahan minyak kelapa dengan persentase yang bervariasi dengan SAE 40. Nilai viskositas kinematik dari minyak hasil campuran dengan penambahan minyak kelapa dan minyak sawit dengan persentase yang bervariasi pada umumnya menurun kecuali pada penambahan minyak virgin oil pada persentase 15% pada temperatur 40°C (138,4 cSt). Hal ini disebabkan oleh viskositas kinematik dari minyak kelapa (kopra, tanak, dan virgin oil) dan minyak sawit pada temperatur 40°C dan 100°C nilainya dibawah viskositas kinematik dari SAE 40 seperti terlihat pada tabel 1. Hal ini disebabkan karena viskositas dari minyak kelapa dan minyak sawit lebih kecil dari viskositas dari oli SAE 40, sehingga viskositas dari hasil pencampuran juga akan kecil.

Viskositas index dari minyak campuran antara minyak kelapa dan minyak sawit dengan persentase yang bervariasi dengan SAE 40 pada umumnya cendrung naik diatas harga viskosita index dari SAE 40 sebesar 98. Harga viskositas index minyak campuran yang tertinggi terjadi pada campuran minyak sawit 20 %. Penyebab tingginya nilai viskositas index ini disebabkan oleh kandungan *fatty acid* dalam minyak kelapa dan minyak sawit [7,10]. Perbedaan viskositas index diantara minyak kelapa disebabkan oleh proses pembuatan minyak kelapa akan menyebabkan kandungan fatty acid dari minyak kelapa akan berbeda [8].

Penyebab mengapa keausan disk dan pin berbeda untuk minyak yang sama, hal ini dapat diduga karena tingkat polariti dari masing-masing minyak terhadap material pin dan disk, semakin polar minyak tersebut semakin mudah berikatan dengan logam

[11].

Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan keausan ketika penggunaan *vegetabel oil* pada daerah *boundary lubrication* selama pemindahan berkelanjutan dari lapisan *metallic soap* yang terbentuk dari hasil reaksi pelumas dengan permukaan baja selama terjadinya sliding kontak [12]. Lapisan metallic terbentuk secara berkelanjutan oleh reaksi kimia lanjut. Karena *metallic soap* mempunyai kekuatan geser yang rendah, maka *wear volume* juga akan menjadi rendah.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Pengaruh penambahan minyak kelapa dan minyak sawit dengan persentasenya 5%, 10%, 15 %, dan 20% pada SAE 40 akan mempengaruhi nilai viskositas dari minyak pelumas hasil campuran. Semakin tinggi persentase minyak kelapa (kecuali *virgin oil* dengan persentase 15 %) akan semakin turun nilai viskositasnya baik pada temperatur 40°C dan 100°C. Sedangkan viskositas paling tinggi terjadi pada penambahan 15% *virgin oil* dan harga viskositas masih dalam *range* viskositas SAE 40.
2. Pengaruh penambahan minyak kelapa dan minyak sawit dengan persentasenya 5%, 10%, 15 %, dan 20% pada SAE 40 akan meningkatkan nilai viskositas index.
3. Keausan permukaan yang terjadi dengan variasi penambahan presentase minyak kelapa akan bervariasi dan keausan yang terjadi diatas keausan dari SAE 40. Bentuk tekstur permukaan yang mengalami keausan adhesif dan abrasif dapat diamati dengan *scar diameter*. Nilai *scar diameter* sangat bervariasi dengan variasi penambahan

presentase minyak kelapa dan minyak sawit. Dari hasil koefisien gesek yang diperoleh, penambahan persentase minyak kelapa akan mengakibatkan nilai koefisien gesek meningkat jika dibandingkan dengan SAE 40.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih penulis ucapan kepada Direktorat Pendidikan Tinggi dan Teknologi Republik Indonesia melalui hibah Fundamental dengan kontrak No. 14/H.16/FUNDAMENTAL/LPPM/2015 dan No. 31/UN.16/FD/LPPM/2016.

Referensi

- [1] Kailas M. Talkit, D. T. Mahajan, V. H. Masand, Study on physicochemical properties of vegetable oils and their blends use as possible ecological lubricant, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 4(12) (2012), 5139-5144
- [2] J. Salimon, N. Salih and E. Yousif: ‘Biolubricants: Raw materials, chemical modifications and environmental benefits’, *Eur. J. Lipid Sci. Tech.*, 112 (2010), 519–530.
- [3] Adhvaryu A, Liu Z, Erhan S. Synthesis of novel alkoxylated triacylglycerols and their lubricant base oil properties. *Industrial Crops and Products*, 21 (2005), 113-119.
- [4] Adhvaryu, A., Erhan, S.Z. : ‘Epoxidized soybean oil as a potential source of high-temperature lubricants’, *Ind. Crop. Prod.*, 15 (3) (2002), 247–254.
- [5] Bilal S., Mohammed-Dabo I. A., Nuhu M1, Kasim, S. A., Almustapha I. H. and Yamusa Y. A.: ‘Production of biolubricant from jatropha curcas seed oil’, *J. Chem. Eng. Mater. Sci.*, 4 (6) (2013), 72-79.
- [6] M. Shahabuddin, H. H. Masjuki, and M.A. Kalam, Experimental investigation into tribological characteristics of bio-lubricant formulated from jatropha oil, *Procedia Engineering*, 56 (2013), 597 – 606.
- [7] M. Allawzi, M.K. Abu-Arabi, H.S. Alzoubi and A.Tamimi: ‘Physicochemical characteristics and thermal stability of jordanian jojoba oil’ , *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 75 (1) (1998), 57–62.
- [8] D. Gasni, I. H. Mulyadi, Jon Affi, Investigation of Physico chemical and tribological properties of Indonesia coconut oils extracted through dry and wet processing as potential bio-lubricant, *Journal of Tribology – Material, Surfaces & Interfaces*. Submitted.
- [9] MTU Friedrichshafen, Fluids and lubricants specifications, Germany, 2012
- [10] Quinchia et al., Tribological studies of potential vegetable oil-based lubricants containing environmentally friendly viscosity modifier, *Tribology International*, 69 (2014), pp 110-117
- [11] Jayadas N.H., Tribological Evaluation of Coconut Oil as an Environment – friendly Lubricant, Calicut: Cochin University of Science and Technology, 2006.
- [12] Balamurugan, N. Kanagasabapathy, and K. Mayilsamy, ‘Studies on soya bean oil based lubricant for diesel engine’, *J. Scientific and Industrial Research*, 69 (2010), 794-797.