

Pengaruh kecepatan pada koefisien gesek campuran minyak sawit dan minyak kapuk sebagai minyak dasar *lubricant*

Dedi Rosa Putra Cupu^{a,1}, Michael Nicola Simjaya^a, Kaspul Anuar^a, Nazaruddin^a, Syafri^a

^aProgram Studi S1 Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru, 28292

¹dedi.cupu@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Environmental concerns about using mineral oil as a base stock of lubricant have pushed researchers to develop biolubricant, which is renewable, bio-degradable, and environmentally friendly. Kapok oil (ceiba pentandra) is a potential vegetable oil to substitute mineral oil as the base oil lubricant. This research aims to develop a new base oil by mixing kapok oil and palm oil. The effect of speed on the coefficient of friction was investigated by employing a reciprocating pin-on-disc tribometer at room temperature. The result shows that mixing kapok oil and palm oil could replace mineral oil-based lubricant, in which the coefficient of friction for mixing oil and mineral oil was similar. Furthermore, this study also proved that the higher the speed, the higher the friction coefficient.

Keywords: minyak kapuk, *biolubricant*, koefisien gesek, campuran minyak kapuk dan minyak sawit, pengaruh kecepatan terhadap koefisien gesek

Received 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

DOI: 10.71452/590800

PENDAHULUAN

Gerak relatif yang terjadi pada dua elemen mesin yang mengalami kontak akan menimbulkan gesekan termasuk pada *rolling element bearing*, sistem rodagigi (*gear*) dan mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Pada mesin pembakaran dalam, gesekan yang terjadi pada ring piston dan dinding silinder liner menyebabkan terjadinya keausan (*wear*) dimana gesekan dan keausan pada komponen – komponen mesin pembakaran dalam mengakibatkan energi terbuang hingga 15% dari energi yang masuk, dan 40 – 55 % terjadi pada komponen piston [1]. Metode yang paling efektif dalam mengurangi terjadinya gesekan dan keausan adalah dengan menggunakan pelumas (*lubricant*) terutama pelumas cair (*fluid lubricant*). Secara sederhana, *lubricant* akan membentuk lapisan film yang membatasi terjadinya kontak langsung antara dua permukaan benda tergantung nilai viskositas *lubricant* dan parameter seperti kecepatan dan beban yang bekerja pada benda [2]. Selain itu, temperatur dan beban dinamik (*transient*) juga mempengaruhi ketebalan lapisan film yang terbentuk pada kontak elastohidrodinamik [3], [4].

Saat ini, minyak mineral yang berasal dari minyak bumi masih digunakan sebagai minyak dasar (*base stock*) dalam pembuatan *lubricant* menimbang ketersediaan dan biaya murah dalam proses produksi [5]. Akan tetapi untuk masa yang akan

datang faktor tersebut tidak dapat dijadikan sebagai faktor penentu menimbang minyak mineral merupakan bahan yang tidak dapat diperbaharui (*non-renewable*) sehingga ketersediaannya di masa yang akan datang akan berkurang. Penelitian memprediksikan bahwa puncak produksi minyak mineral terjadi pada tahun 2112 dan setelahnya akan terjadinya penipisan minyak mineral yang sangat cepat [6], [7]. Selain itu, minyak mineral juga tidak dapat terurai secara alami (*non-biodegradable*) sehingga dapat menjadi polusi yang mencemari lingkungan (*non-environmentally friendly*). Tumpahan minyak mineral dapat menyebabkan masalah bagi kehidupan tumbuhan, hewan, dan manusia. Minyak yang mengapung di atas air menghalangi sinar matahari untuk melewatinya sehingga menyulitkan tumbuhan dan hewan laut untuk bertahan hidup. Oleh karena itu, penelitian tentang penggunaan material yang dapat diperbaharui (*renewable*), dapat terurai secara alami (*biodegradable*) dan ramah lingkungan sebagai minyak dasar *lubricant* menjadi hal yang sangat penting dilakukan, seperti minyak nabati (*vegetable oils*).

Penggunaan minyak nabati sebagai *lubricant* sudah dilaksanakan beberapa dekade sebelum ditemukan minyak mineral. Menimbang ongkos produksi dan ketersediaan minyak mineral pada saat itu jauh lebih murah dibandingkan menggunakan minyak nabati maka minyak mineral menjadi populer sebagai

minyak dasar *lubricant* [8]. Akan tetapi, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa minyak mineral tidak dapat diperbaharui sementara ketergantungan manusia terhadap minyak mineral sangat tinggi termasuk sebagai bahan bakar dan *lubricant* sehingga penelitian terkait penggunaan minyak nabati meningkat [9]. Saat ini, minyak sawit menjadi pilihan utama di negara-negara asia pasifik terutama Indonesia dan Malaysia karena dua negara ini merupakan penghasil sawit terbesar di dunia [10]. Minyak sawit merupakan minyak nabati yang paling banyak digunakan di seluruh dunia dengan total produksi mencapai 40% lebih banyak dibandingkan minyak nabati lainnya [11]. Adapun pemanfaatan minyak sawit di Indonesia masih terbatas pada industri fraksinasi/rafinasi untuk minyak goreng, margarin, *oleochemical* dan produksi sabun mandi. Asam oleat dan linoleat pada minyak sawit mampu membentuk lapisan pembatas (*boundary film*) ketika digunakan sebagai *lubricant* sehingga dapat mengurangi gesekan dan keausan [12]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak sawit yang sudah diproses *refining*, *bleaching* dan *deodorizing* (biasa disebut *Refined*, *Bleached and Deodorized Palm Olein* atau RBDPO) memiliki sifat lubrikasi yang baik menimbang nilai koefisien gesek 10 – 20 persen lebih rendah dibandingkan minyak *engine* yang dijual di pasar (SAE 10W-30), bahkan campuran minyak sawit dan minyak mineral dengan komposisi tertentu (53,11%:46,89%) menghasilkan koefisien gesek 30 % lebih rendah [13].

Penggunaan minyak sawit sebagai minyak dasar *lubricant* menjadi perdebatan mengingat minyak sawit termasuk kategori *edible oil* (dapat dimakan) dimana minyak sawit menjadi bahan utama dalam pembuatan minyak goreng di Indonesia. Kelangkaan minyak goreng menjadi faktor peneliti melakukan riset tentang penggunaan minyak kategori *non-edible oil* (tidak dapat dimakan) sebagai minyak dasar pembuatan *lubricant* seperti *Neem oil* dan *Honge oil* sebagai *cutting fluid oil* pada proses pemesinan [14]. Selain itu, penelitian terhadap minyak kapuk (*Kapok oil*) sebagai minyak dasar *lubricant* sudah dilakukan [15], [16]. Pada penelitian ini, minyak dasar *lubricant* dibuat melalui proses pencampuran minyak sawit (PO) dan minyak kapuk (KO) dengan perbandingan volume yang sama (50%PO:50KO) untuk mengetahui pengaruh kecepatan terhadap sifat tribologi (koefisien gesek dan laju keausan) menggunakan tribometer *reciprocating pin-on-disc* (gerak translasi bolak-balik).

METODOLOGI

Pembuatan Sampel Biolubricant

Minyak kapuk yang diekstraksi dari biji pohon kapuk diperoleh dari pasar lokal di Pekanbaru, Riau sedangkan minyak sawit yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak sawit yang sudah diolah menjadi minyak goreng yang dijual di pasar lokal. Minyak sawit (50%) dan minyak kapuk (50%) dicampur dan diaduk menggunakan *mechanical stirrer* selama 30 menit untuk mendapatkan campuran yang homogen.

Pengujian gesekan dan keausan

Sifat tribologi berupa koefisien gesek dan laju keausan *biolubricant* dievaluasi menggunakan tribometer *pin-on-disc* gerak translasi bolak-balik (*reciprocating*) yang menggambarkan gerak yang terjadi antara kontak ring piston dan silinder liner pada mesin pembakaran dalam. Pemilihan kontak berupa *pin-on-disc* bertujuan untuk mengurangi terjadinya *missalignment* [5]. Secara umum, tribometer terdiri dari *pin*, *disc*, lengan (*cantilever beam*) untuk memberikan beban normal dan bak tempat *lubricant* seperti pada Gambar 1. Pin dengan ujung berbentuk setengah bola (*hemisphere*) dengan diameter 20 mm dipasang pada batang kantilever berfungsi sebagai elemen yang bergerak translasi dengan beban normal tertentu. *Disc* dengan diameter 40 mm dan tebal 5 mm dan ditempatkan di sebuah bak dimana terdapat *lubricant* yang akan diuji di dalamnya. Pengujian dilakukan pada temperatur ruangan. Penimbangan pin dan disc dilakukan sebelum pengujian gesek untuk mendapatkan massa awal. Pengujian gesek dilakukan selama 3 jam dan setiap 1 jam tribometer dihentikan untuk menghitung massa yang hilang (*loss weight*). Beban yang diaplikasikan pada kontak adalah konstan (4 kg) dengan variasi kecepatan 500 rpm dan 1500 rpm. Hasil pengujian diolah dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

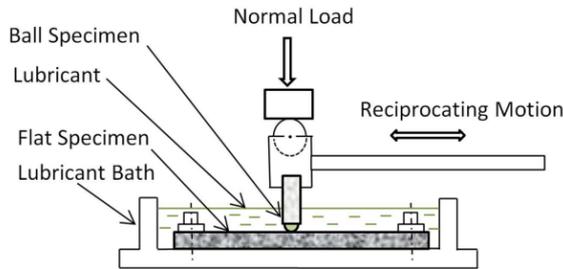
$$F_k = F_n \cdot \mu_k \quad (1)$$

dimana F_k adalah gaya gesek kinetik (N), F_n adalah gaya normal (N) dan μ_k adalah koefisien gesek kinetik. Adapun laju keausan diperoleh dari rumus:

$$k = \Delta V / (W \cdot L) \quad (2)$$

dimana k adalah laju keausan ($\text{m}^2/\text{N}\cdot\text{m}$), ΔV adalah volume benda yang hilang (m^3), W adalah beban yang diberikan pada kontak (N) dan L adalah panjang lintasan (m). Adapun ΔV dapat dihitung

dengan membagi massa yang hilang dengan massa jenis material yang mengalami keausan ($\Delta V = \Delta m / \rho$).



Gambar 1. Sketsa tribometer pin-on-disc gerak translasi bolak-balik [5]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Tribometer Pin-on-disc

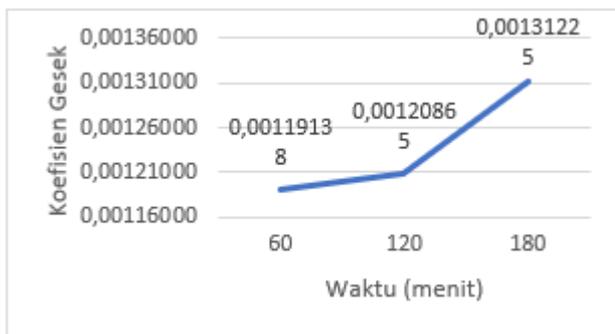
Data yang didapatkan setelah melakukan pengujian gesek dengan kecepatan putar 500 rpm dan 1500 rpm pada alat uji tribometer *pin on disc* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Hasil pengolahan data berupa koefisien gesek menggunakan tribometer *recipro-cating pin-on-disc* dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Data pengujian campuran 50% minyak kapuk dengan 50% minyak sawit pada kecepatan putar 500 rpm selama 180 menit

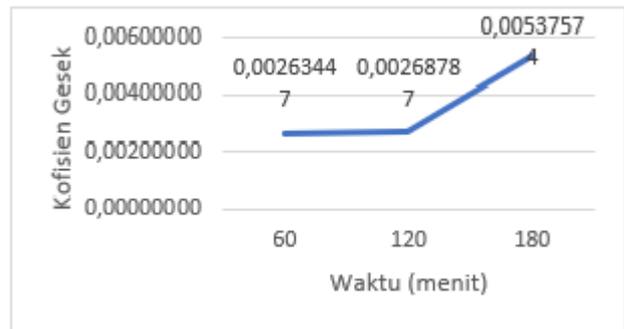
Panjang lintasan (m)	Massa awal (kg)			Massal akhir (kg)		
	Pin	Disc	Total	Pin	Disc	Total
2638,982	0,2411	0,156	0,3971	0,2407	0,1555	0,3962
2530,439	0,2407	0,1555	0,3962	0,2403	0,1551	0,3954
2653,629	0,2403	0,1551	0,3954	0,2396	0,1546	0,3942
Rata-rata panjang lintasan = 2607,683 m						

Tabel 2. Data pengujian campuran 50% minyak kapuk dengan 50% minyak sawit pada kecepatan putar 1500 rpm selama 180 menit

Panjang lintasan (m)	Massa awal (kg)			Massal akhir (kg)		
	Pin	Disc	Total	Pin	Disc	Total
7882,414	0,2456	0,1576	0,4032	0,2451	0,1572	0,4023
6079,087	0,2451	0,1572	0,4023	0,2445	0,1568	0,4013
7460,367	0,2445	0,1568	0,4013	0,2439	0,1562	0,4001
Rata-rata panjang lintasan = 7140,622 m						



(a)



(b)

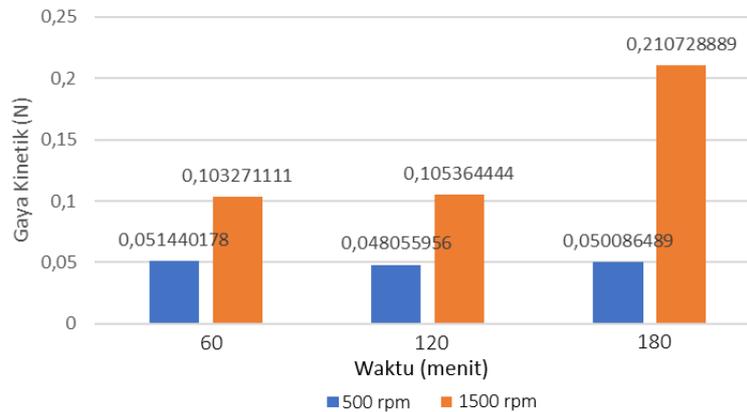
Gambar 2. Koefisien gesek pada kecepatan (a) 500 rpm dan (b) 1500 rpm

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa koefisien gesek meningkat seiring pertambahan waktu baik pada

kecepatan 500 rpm maupun kecepatan 1500 rpm. Peningkatan secara signifikan terjadi setelah 120

menit dimana pada kecepatan 500 rpm koefisien gesek meningkat dari 0,00121 ke 0,00131 sedangkan pada kecepatan 1500 rpm terjadi peningkatan sebesar 50 %. Fenomena yang hampir sama terjadi ketika minyak nabati lain digunakan sebagai lubricant seperti minyak sawit, berbeda ketika menggunakan lubricant berbasis minyak mineral yang ada di pasaran [9]. Hal ini mungkin disebabkan karena kandungan asam lemak pada minyak nabati seperti minyak sawit dan minyak kapuk sehingga mempengaruhi sifat anti-gesek. Selain itu, minyak kapuk (dan minyak sawit) yang digunakan pada penelitian ini murni tanpa material tambahan seperti halnya pada *lubricant* komersial yang mengandung zat aditif seperti *zinc dialkyldithiophosphate* (ZDDP) sebagai *anti-wear* (AW) *agent*.

Pengaruh kecepatan terhadap gaya gesek juga dapat diamati dari Gambar 2. Koefisien gesek setelah 180 menit pada kecepatan 500 rpm lebih kecil daripada koefisien gesek pada saat kecepatan 1500 rpm. Dari gaya kinetik yang dibutuhkan seperti terlihat pada Gambar 3, untuk kecepatan 1500 rpm gaya kinetiknya lebih besar dibandingkan yang 500 rpm sehingga menyebabkan koefisien geseknya juga lebih besar. Selain itu, panjang lintasan yang dibutuhkan ketika pengujian gesekan dilakukan juga mempengaruhi besarnya koefisien gesek yang dihasilkan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian [17] yang menyimpulkan bahwa koefisien gesek meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan.



Gambar 3. Gaya kinetik terhadap waktu pengujian pada kecepatan 500 rpm dan 1500 rpm

KESIMPULAN

Pembuatan *biolubricant* berbasis campuran minyak kapuk 50 % dan minyak sawit 50 % menggunakan *magnetic stirrer* telah dilakukan. Berdasarkan pengujian gesekan menggunakan tribometer pin-on-disc gerak translasi bolak-balik pada dua kecepatan yang berbeda didapatkan hasil bahwa semakin tinggi kecepatan maka semakin besar koefisien gesek yang terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Riau atas bantuan dana penelitian yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] D. E. Richardson, "Review of Power Cylinder Friction for Diesel Engines," *J Eng*

Gas Turbine Power, vol. 122, no. 4, pp. 506–519, 2000, doi: 10.1115/1.1290592.

[2] D. R. P. Cupu, A. Bahari, K. Osman, and J. Md Sheriff, *Numerical analysis of elastohydrodynamic lubrication with non newtonian lubricant*, vol. 388. 2013. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.388.3.

[3] D. R. P. Cupu and K. Osman, "Numerical Analysis of the Effect of Temperature on the Pressure and Film Thickness for Line Contact Elastohydrodynamic Lubrication Using Bio-Based Oils as Lubricants," *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, vol. 92, no. 1, pp. 90–104, 2022, doi: 10.37934/arfm.92.1.90104.

[4] D. R. P. Cupu, A. Stratmann, and G. Jacobs, "Analysis of transient elastohydrodynamic lubrication of point contact subjected to sinusoidal dynamic loads," in *IOP*

- Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/539/1/012030.
- [5] A. Bahari, R. Lewis, and T. Slatter, "Friction and Wear Response of Vegetable Oils and Their Blends with Mineral Engine Oil in a Reciprocating Sliding Contact at Severe Contact Conditions," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J-Journal of Engineering Tribology*, vol. 232, no. 3, pp. 244–258, 2018, doi: <https://doi.org/10.1177/1350650117712344>.
- [6] R. W. Bentley, "Global oil & gas depletion: an overview," 2002.
- [7] K. Aleklett and C. J. Campbell, "The peak and decline of world oil and gas production," *Minerals and Energy - Raw Materials Report*, vol. 18, no. 1, pp. 5–20, 2003, doi: 10.1080/14041040310008374.
- [8] L. R. (Ed) Rudnick, *Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology (3rd ed.)*. Boca Raton: CRC Press, 2020.
- [9] D. R. P. Cupu, M. Ichsan, and Y. M. A. Putra, "Friction and Wear Evaluation of Palm Oil and Its Blend with Mineral Engine Oil in a Pin-on-Disk Contact," *Proceedings of International Conference on Design, Energy, Materials dan Manufacture 2022*, 2022.
- [10] Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, "Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2021," 2022.
- [11] S. B. Hansen, R. Padfield, K. Syayuti, S. Evers, Z. Zakariah, and S. Mastura, "Trends in global palm oil sustainability research," *J Clean Prod*, vol. 100, pp. 140–149, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.03.051.
- [12] H. H. Masjuki, M. A. Maleque, A. Kubo, and T. Nonaka, "Palm oil and mineral oil based lubricants—their tribological and emission performance," *Tribol Int*, vol. 32, no. 6, pp. 305–314, Jun. 1999, doi: 10.1016/S0301-679X(99)00052-3.
- [13] M. Hassan, F. N. Ani, and S. Samion, "Tribological Performance of Refined, Bleached and Deodorised Palm Olein Blends Bio-lubricants," *J Oil Palm Res*, vol. 28, no. 4, pp. 510–519, 2016, doi: 10.21894/jopr.2016.2804.12.
- [14] P. N. Jyothi, M. Susmitha, and P. Sharan, "Performance evaluation of NEEM oil and HONGE Oil as cutting fluid in drilling operation of mild steel," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Apr. 2017. doi: 10.1088/1757-899X/191/1/012026.
- [15] S. Shankar, M. Manikandan, and G. Raja, "Evaluation of tribological properties of Ceiba pentandra (kapok) seed oil as an alternative lubricant," *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 70, no. 3, pp. 506–511, 2018, doi: 10.1108/ILT-04-2017-0103.
- [16] S. Shankar, M. Manikandan, D. K. Karupannasamy, C. Jagadeesh, A. Pramanik, and A. K. Basak, "Investigations on the tribological behaviour, toxicity, and biodegradability of kapok oil bio-lubricant blended with (SAE20W40) mineral oil," *Biomass Convers Biorefin*, vol. 13, no. 5, pp. 3669–3681, Apr. 2023, doi: 10.1007/s13399-021-01394-0.
- [17] R. Cross, "Increase in friction force with sliding speed," *Am J Phys*, vol. 73, no. 9, pp. 812–816, Sep. 2005, doi: 10.1119/1.1891174.