

Karakteristik Pembasahan dan Pelumasan Campuran Minyak Jarak dan Minyak Kelapa dengan Variasi Persentase Minyak Jarak

Moch. Syamsul Ma'arif^{a,1}, M. Jamaludin Iksan^a, Sugiarto^a, Erwin Sulistyono^a, Sarah Aqila Luthfia^b, Iis Siti Aisyah^c

^aDepartemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang, 65145

^bDepartemen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang, 65145

^cJurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah, Malang, 65144

¹syamsulm@ub.ac.id

ABSTRACT

Lubricants are materials that are very much needed in the industrial world. The most commonly used lubricant is mineral oil, so it is necessary to start utilizing alternative sources of lubricants, such as vegetable oils from castor oil plants, palm oil, and others. Theoretically, lubrication performance is primarily determined by two main things, namely, the lubricant's viscosity and the lubricant's adhesion to the lubricated surface. A good lubricant can provide a protective layer so that direct contact between two rubbing surfaces does not occur and the wear rate can be controlled. The adhesive properties of the lubricant can be determined by the measurement method, while the wear resistance can be determined from the tribometer test. In this study, a goniometer and a pin-on-disk tribometer were used to obtain contact angle data and wear rates for lubricants from a mixture of castor oil and coconut oil with a castor oil percentage of 2.5%, 5%, 10%, 20%, 30%. The results of this study obtained contact angles of 100, 100, 120, 130, and 130 and wear rates of 6.97 e-12 mm²/N, 1.92 e-12 mm²/N, 1.38 e-12 mm²/N, 1.00 e-12 mm²/N, and 3.15 e-12 mm²/N for castor oil percentages of 2.5%, 5%, 10%, 20%, 30%. As the concentration of castor oil increases in the vegetable lubricant mixture's composition, the contact angle's magnitude will increase, and the wear rate will generally decrease. This is because castor oil in the vegetable oil mixture has a considerable bonding energy value, so the friction that occurs is lower.

Keywords: Wetting, lubrication, castor oil, coconut oil, wear rate, contact angle

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

DOI: 10.71452/590656

PENDAHULUAN

Pelumas merupakan bahan yang sangat dibutuhkan dalam dunia industri untuk memperlancar kegiatan produksi yang bertujuan untuk mengurangi gesekan antar bagian, menghilangkan panas (bertindak sebagai pendingin), dan bertindak sebagai cairan penyegel [1]. Selama ini pelumas yang paling digunakan adalah minyak mineral, selain itu dapat digunakan juga minyak pelumas dasar jenis minyak nabati, atau minyak sintetis yang berasal dari minyak bumi atau minyak nabati [2]. Pemakaian minyak bumi menciptakan banyak efek negatif terhadap lingkungan akibat limbah pelumas yang dibuang ke lingkungan dan kesehatan terhadap para pekerja. Karena itu, dimulailah pemanfaatan sumber alternatif pelumas menggunakan minyak nabati dari tumbuhan jarak, kelapa sawit, dan lainnya [3].

Faktor yang mempengaruhi ketebalan lapisan pelumas ialah sifat kimia dan fisika dari pelumas tersebut seperti viskositas (kekentalan) pelumas yang berhubungan dengan adsorpsi dan kondisi permesinannya. Idealnya viskositas atau hambatan

suatu pelumas harus kecil namun harus menghasilkan lapisan tipis yang kuat/kental untuk memisahkan dua permukaan yang saling bergesekan pada temperatur tertentu [4].

Jika ingin mengetahui sifat pelekatan pelumas, maka metode pengukuran sudut kontak dapat digunakan untuk mengukur interaksi antara pelumas dan permukaan. Selain itu, untuk mengetahui ketahanan keausan maka pengujian tribometer dapat digunakan untuk menguji ketahanan keausan serta mengetahui nilai *wear rate* [5]. Berdasarkan penjelasan diatas, dalam penelitian ini penulis ingin mempelajari pengaruh komposisi campuran minyak jarak dan minyak kelapa terhadap kemampuan pembasahan dan ketahanan keausan minyak pelumas yang diukur dengan menggunakan metode sudut kontak dan uji keausan.

REVIEW LITERATUR

Pelumas merupakan zat kimia yang umumnya berupa cairan yang diberikan di antara dua benda bergerak dengan tujuan untuk mengurangi gaya gesek. Sedangkan pelumasan adalah tindakan menempatkan

pelumas antara permukaan yang saling bergeser untuk mengurangi keausan dan friksi. Minyak pelumas memiliki beberapa fungsi dan tujuan, yaitu 1) mengurangi gesekan serta mencegah keausan dan panas, dengan cara oli dapat membentuk suatu lapisan tipis (oil film) untuk mencegah kontak langsung permukaan logam dengan logam, 2) sebagai media pendingin, yaitu dengan menyerap panas dari bagian-bagian yang mendapat pelumasan dan kemudian membawa serta memindahkannya pada sistem pendingin, 3) sebagai bahan pembersih, yaitu dengan mengeluarkan kotoran pada bagian-bagian mesin, dan 4) mencegah karat pada bagian-bagian mesin [6].

Suatu badan internasional, yaitu Society of Automotive Engineers (SAE), mempunyai standar kekentalan/viskositas dengan awalan SAE di depan indeks kekentalan. SAE telah membuat indeks kekentalan yang diikuti dengan huruf W, yang menunjukkan kekentalan minyak pelumas pada temperature -20°C (W artinya Winter/musim dingin) dan disebut kekentalan rendah [7].

Jarak pagar (*Jatropha curcas* L., Euphorbiaceae) merupakan tumbuhan semak berkayu yang banyak ditemukan di daerah tropik. Tanaman ini menjadi salah satu sumber minyak nabati yang sangat prospektif dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel. Hal ini karena minyak jarak pagar tidak termasuk dalam katagori edible oil atau minyak makan [8]. Komposisi asam lemak minyak jarak pagar dominan terdiri dari asam oleat dan asam linoleat, sementara sisanya berupa asam miristat, asam palmitat, asam stearat, asam arachidic, asam behedic, asam palmitoleat, dan asam Linolenat [9].

Karakteristik asam lemak dapat dilihat di Tabel 1 sedangkan kandungan asam lemak minyak jarak ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik minyak jarak pagar

Karakteristik	Minyak Jarak Pagar
Kadar Air (%) *	1,22
Densitas (gr/ml) *	0,9179
Viskositas kinematik (m^2/s)	0,337

Sumber: *[10]

Tabel 2. Komposisi minyak jarak

Komposisi	Jumlah (%)
Asam Miristat	0 - 0,1
Asam Palmitat	14,1 - 15,3
Asam Stearat	3,7 - 9,8

Arachidic Acyd	0 - 0,3
Behedic Acyd	0 - 0,2
Asam Palmitoleat	0 - 1,3
Asam Oleat	34,3 - 45,8
Asam Linoleat	29 - 44,2
Asam Linolenat	0 - 0,3

Sumber: [11]

Minyak kelapa murni (Virgin coconut oil/VCO) merupakan produk olahan kelapa yang melalui proses pengolahan secara singkat, sehingga dapat mempertahankan komponen alami dari kelapa. Komponen alami dari kelapa ini dapat berfungsi sebagai anti inflamasi, analgesic, dan antipiretik, karena kemampuannya mengurangi pembentukan transudate, pembentukan granuloma, dan aktivitas serum alkali fosfatase [12].

Karakteristik asam lemak dapat dilihat di Tabel 3 sedangkan kandungan asam lemak minyak jarak ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Karakteristik minyak kelapa

Karakteristik	Minyak Kelapa
Densitas (g/ml) §	0,94
Viskositas kinematik (m^2/s)	0,301

Sumber: § [13]

Tabel 4 Komposisi minyak kelapa

Komposisi	Jumlah (%)
Asam kaproat	0,187
Asam oktanoat	1,12
Asam siklopropanpentanoat	0,54
Asam laurat	32,73
Asam miristat	28,55
Asam palmitat	17,16
Asam oleat	14,09
Asam stearat	5,68

Sumber: [14]

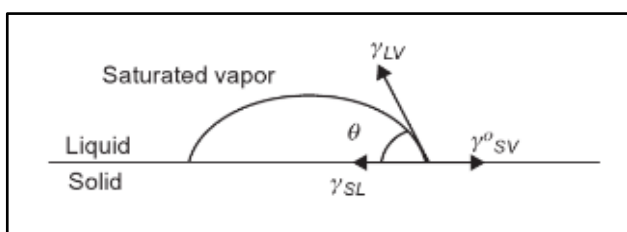
Penelitian mengenai pengaruh komposisi minyak jarak dan minyak nabati lainnya dapat ditemukan di literatur. Misalnya penelitian tentang campuran minyak jarak dan minyak zaitun [10]. Di penelitian tersebut campuran minyak memiliki viskositas berkisar $1,6159 \text{ m}^2/\text{s}$ pada komposisi 100% minyak Jarak. Juga dari pengujian viskositas terhadap berbagai variasi komposisi campuran minyak menunjukkan semakin tinggi komposisi minyak jarak maka semakin turun pula viskositas yang dihasilkan. Hal ini karena minyak jarak mempunyai kekentalan yang lebih rendah dari pada minyak zaitun sehingga mempengaruhi sifat campuran.

Penelitian lain tentang campuran minyak getah karet dan minyak jarak menghasilkan kesimpulan bahwa viskositas dan laju aliran fluida memiliki keterkaitan yang erat sekali. Semakin kental suatu fluida, maka semakin besar pula gaya yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida tersebut. Semakin panjang alkohol dan rantai karbon asam lemak maka semakin besar pula viskositasnya. Hal tersebut dikarenakan viskositas kinematik berkaitan dengan komposisi dari jumlah ikatan rangkap, asam lemak bahan baku, dan kemurnian produk akhir [15].

Minyak bumi memiliki potensi besar untuk digantikan oleh minyak nabati sebagai bahan baku untuk pelumas karena minyak nabati memiliki biodegradability yang tinggi, toksisitas yang rendah, daya terbarukan, dan kinerja pelumasan yang sangat bagus [16]. Dari penelitian ini, ditemukan bahwa semakin meningkatnya suhu maka viskositas minyak nabati murni dan campurannya secara teratur akan menurun. Kinerja keausan pelumas berbasis minyak jarak sangat baik untuk aplikasi permesinan kecepatan rendah [17]. Pengujian eksperimental dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh beban, kecepatan, dan rasio pencampuran. berdasarkan susunan orthogonal L16 Taguchi.

Dalam kehidupan sehari-hari, kita menemukan berbagai jenis zat yang partikelnya berupa molekul dan berbeda fasa. Gaya tarik menarik antar molekul satu dengan molekul lain disebut dengan gaya antar molekul (intermolecular force). Gaya antar molekul merupakan gaya tarik menarik antar molekul yang memiliki interaksi yang lemah dan bersifat elektrostatis. Gaya antarmolekul dapat terjadi antara molekul nonpolar dengan molekul polar, molekul polar dengan molekul nonpolar, dan molekul polar dengan molekul polar [18].

Sudut kontak (θ) merupakan ukuran kuantitatif dari basahya suatu padatan oleh zat cair atau juga dapat didefinisikan sebagai sudut geometris yang dibentuk oleh zat cair pada tiga batas fase dimana zat cair, gas dan padat saling memotong seperti pada Gambar 1. Pengukuran sudut kontak pada suatu bidang dilakukan untuk mengetahui sifat permukaan bahan hidrofobik atau hidrofilik. Pada keadaan tersebut akan terbentuk sebuah sudut θ yang disebut sebagai sudut kontak [19].



Gambar 1. Hubungan fasa gas-cair-padat membentuk sudut kontak. Sumber: [20]

Fenomena pada permukaan seperti keterbasahan dan adhesivitas semakin penting dalam beberapa aspek ilmu terapan dan teknologi. Secara lebih umum pengukuran sudut kontak akan menjadi teknik dalam karakterisasi sifat antarmuka padatan-cairan, dan sebagai teknik yang mudah untuk mengukur tegangan permukaan pada permukaan padatan. Hasil pengukuran sudut kontak, selain dapat menunjukkan sifat permukaan berupa tegangan permukaan dapat juga untuk mendemonstrasikan beberapa karakteristik mendasar lain seperti interaksi molekuler (ion-dipol, dipol-dipol, dan gaya Van der Waals) [21].

Sudut kontak kurang dari 90° menunjukkan pembasahan permukaan menguntungkan, dan cairan akan tersebar di Sebagian besar area pada permukaan. Sementara kontak sudut lebih besar dari 90° umumnya berarti membasahi permukaan kurang baik sehingga cairan akan meminimalkan kontak dengan permukaan dan membentuk tetesan cairan kompak [22].

Tribologi adalah ilmu dan teknologi yang interdisipliner tentang interaksi permukaan dalam pergerakan relatifnya. Dengan kata lain tribologi adalah pengetahuan tentang gesekan (friction), pelumasan (lubrication) dan keausan (wear). Usaha yang dilakukan untuk mengurangi aus diantaranya dengan pelumasan [23]. keausan adalah hilangnya sejumlah lapisan permukaan material karena adanya gesekan antara permukaan padatan dengan benda lain. hilangnya sejumlah lapisan permukaan material karena adanya gesekan antara permukaan padatan dengan benda lain [24].

Tribometer yaitu suatu alat yang digunakan untuk mengetahui keausan dan gesekan suatu material diantara dua permukaan yang berkontak. Desain yang digunakan untuk Tribometer memiliki bentuk berbeda-beda, namun benda dengan permukaan datar atau bulat merupakan bentuk yang umum digunakan. Tribometer memiliki beberapa jenis antara lain a). tribometer Pin On Disc, b) tribometer Pin On Ring, c) tribometer Block On Ring [25].

METODOLOGI

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui sudut kontak dilakukan pengukuran secara langsung menggunakan Goniometer contact angle sedangkan laju keausan diukur dengan menggunakan Tribometer Pin On Disk. Variabel yang digunakan adalah 1) variable bebas yang meliputi komposisi minyak jarak dengan variasi 2,5%, 5%, 10%, 20%, 30% serta presentase komposisi

minyak kelapa dengan variasi 97,5%, 95%, 90%, 80%, 70%, 2) variable terikat yaitu suduk kontak dan laju keausan, serta 3) variable kontrol yang terdiri dari suhu dan beban pengujian.

Untuk pengujian ini maka alat yang digunakan adalah in-house goniometer contact angle dan tribometer pin-on-disk di Gambar 2 dan Gambar 3. Sedangkan bahan yang digunakan adalah minyak jarak varitas JCUMM5 dan minyak kelapa. Minyak jarak JCUMM5 merupakan varitas unggul yang dikembangkan oleh Universitas Muhammadiyah Malang [26] sedangkan minyak kelapa didapatkan di pasaran. Untuk uji keausan juga digunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,001 gram.



Gambar 2. Goniometer contact angle

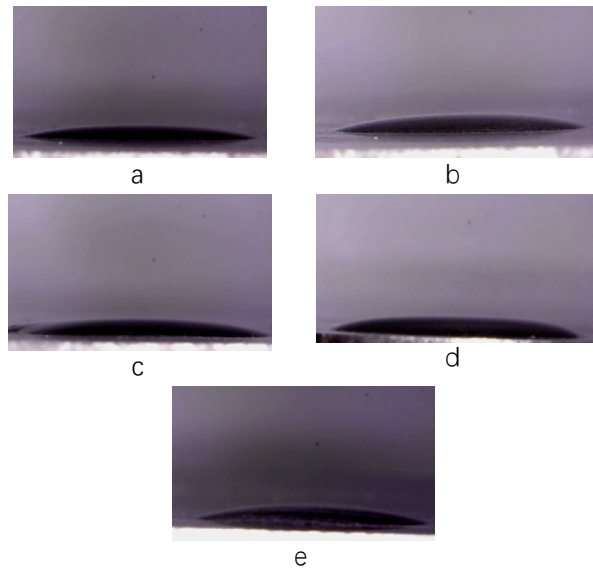


Gambar 3. Goniometer contact angle

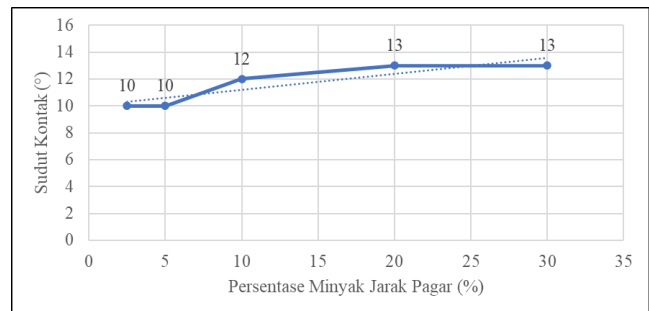
Prosedur penelitian yang digunakan untuk mengukur sudut kontak adalah didasarkan pada ASTM D7334-08 [27] sedangkan prosedur pengujian tribology dilakukan berdasarkan ASTM G-99-95a [28]. Baik untuk uji goniometer dan uji tribometer pin-on-disk dilakukan pada suhu ruang (25-27 0C) dan setiap pengujian diulang sebanyak 3 kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sudut kontak campuran minyak jarak dan minyak kelapa diberikan di Gambar 4.

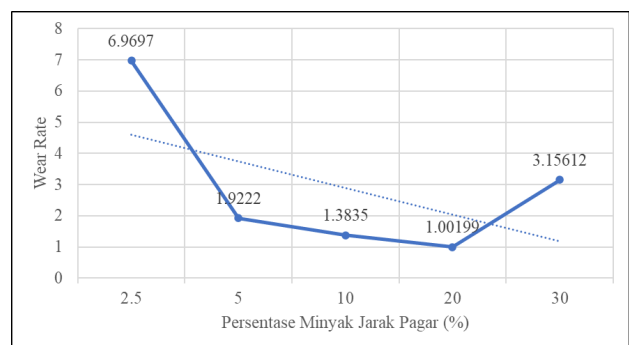


Gambar 4. Uji goniometri untuk campuran minyak jarak dan minyak kelapa dengan persentase: a – 2,5% : 97,5%; b – 5% : 95%; c – 10% : 90%; d – 20% : 80%; e – 30% : 70%



Gambar 5. Grafik pengaruh Campuran Minyak Jarak dan Minyak Kelapa Pada Baja ST40 terhadap sudut kontak

Menurut dasar teori, Semakin kental suatu fluida, maka semakin besar pula gaya yang dibutuhkan untuk membuat fluida tersebut mengalir. Minyak jarak pagar memiliki nilai viskositas lebih tinggi daripada nilai viskositas pada nilai kelapa sehingga nilai viskositas mempengaruhi nilai sudut kontak. Jadi, semakin banyak konsentrasi minyak jarak maka nilai sudut kontak yang dihasilkan semakin besar seperti di Gambar 5.



Gambar 6. Grafik pengaruh Campuran Minyak Jarak dan Minyak Kelapa Pada Baja ST40 Terhadap Wear Rate

Menurut dasar teori, keausan adalah hilangnya sejumlah lapisan permukaan material karena adanya gesekan antara permukaan padatan dengan benda lain, hilangnya sejumlah lapisan permukaan material karena adanya gesekan antara permukaan padatan dengan benda lain. Jadi, semakin besar gesekan yang terjadi maka *wear rate* yang dihasilkan semakin besar.

Pada grafik diatas, dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya konsentrasi minyak jarak pada komposisi campuran pelumas nabati, *wear rate* akan semakin menurun dan naik pada titik tertentu. Kemudian pada grafik juga terlihat kecenderungan *wear rate* yang dihasilkan Menurun dan meningkat ketika konsentrasi minyak jarak ditambahkan pada campuran pelumas nabati. Pada campuran pelumas nabati dengan persentase minyak jarak 2,5% hingga 20% *wear rate* cenderung turun. Hal ini dikarenakan minyak jarak pada campuran minyak nabati memiliki nilai energi ikatan yang besar sehingga gesekan yang terjadi semakin rendah. Kemudian pada persentase minyak jarak 30% *wear rate* cenderung naik. Hal ini dikarenakan minyak jarak kemungkinan sudah pada titik jenuh, sehingga tidak dapat menahan gesekan yang terjadi dan *wear rate* yang dihasilkan semakin besar.

Secara teoretik, unjuk kerja pelumasan banyak ditentukan oleh dua hal utama yaitu viskositas pelumas dan adhesi pelumas ke permukaan yang dilumasi. Pelumas yang baik adalah yang mampu memberikan lapisan pelindung agar kontak langsung antara dua permukaan yang bergesekan tidak terjadi. Agar bisa melindungi, maka setidaknya satu lapisan molekul asam lemak harus selalu berada di permukaan logam yang bisa terjadi jika cukup energi bagi asam lemak untuk teradsorpsi di permukaan logam [29].

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian, analisis, dan pembahasan untuk eksperimen komposisi campuran JCO dan VCO sebesar 2,5%, 5%, 10%, 20%, 20% terhadap sudut kontak dan *wear rate* pada pelumas nabati yaitu semakin banyak persentase komposisi JCO pada campuran minyak nabati maka nilai sudut kontak yang dihasilkan semakin besar. Hal ini dikarenakan JCO memiliki nilai viskositas lebih besar daripada minyak kelapa VCO. Juga semakin banyak persentase komposisi JCO pada campuran minyak nabati maka *wear rate* yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin banyak persentase komposisi JCO nilai energi ikatan pada campuran minyak nabati semakin besar, sehingga gesekan yang terjadi antar permukaan semakin kecil dan *wear rate* yang dihasilkan semakin kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Departemen Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang atas segala bantuan, izin penggunaan fasilitas laboratorium dan bahan yang diberikan selama penelitian.

KONTRIBUSI PENULIS

Konsep dan desain penelitian: MSM, MJI, S, ISA; pengumpulan data: MJI, MSM; **analisis dan interpretasi hasil pengujian:** MJI, MSM, ES; penyiapan **draft manuskrip:** MSM, SAL, ISA. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript

DANA PENELITIAN

Penelitian ini telah didanai melalui dana hibah internal Penelitian DIPA Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Nomor: 18/UN10.F07/PN/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. J. Sullivan, "Oil, Lubricating," in *Encyclopedia of Toxicology*, 2nd ed., New York: Elsevier, 2005, pp. 295–297.
- [2] M. F. Askew, "ENICA: Biolubricants market data sheet," Sand Hutton, Apr. 2004.
- [3] T. D. Ningsih, R. Farida, and R. A. Nugrahani, "PENGARUH BLENDING MINYAK NABATI PADA PELUMAS DARI MINYAK MINERAL TERHADAP STABILITAS OKSIDASI DAN KETAHANAN KOROSI," *J. KONVERSI*, vol. 6, no. 1, p. 7, Apr. 2017, doi: 10.24853/konversi.6.1.7-12.
- [4] D. Gasni, K. A. Razak, A. Ridwan, and M. Arif, "Pengaruh Penambahan Minyak Kelapa dan Sawit Terhadap Sifat Fisik dan Tribologi Pelumas SAE 40," *J. METTEK*, vol. 5, no. 1, p. 1, Apr. 2019, doi: 10.24843/METTEK.2019.v05.i01.p01.
- [5] N. Noorawzi and S. Samion, "Tribological Effects of Vegetable Oil as Alternative Lubricant: A Pin-on-Disk Tribometer and Wear Study," *Tribol. Trans.*, vol. 59, no. 5, pp. 831–837, Sep. 2016, doi: 10.1080/10402004.2015.1108477.
- [6] R. Siskayanti and Kosim. M.E., "Analisis Pengaruh Perbedaan Jenis Minyak Dasar (Base Oil) terhadap Mutu Pelumas Mesin," in *Prosiding Seminar Nasional Sains*

- dan Teknologi, 2017, pp. 1–8.
- [7] W. Hidayat, *Motor Bensin Modern*, 1st ed. Jakarta: Rineka Cipta, 2012.
- [8] E. Hayati, Sabaruddin, and Rahmawati, “Pengaruh Jumlah Mata Tunas dan Komposisi Media Tanam terhadap Pertumbuhan Setek Tanaman Jarak Pagar,” *J. Agrista*, vol. 16, no. 3, pp. 129–134, 2012.
- [9] H. P. S. Makkar, A. O. Aderibigbe, and K. Becker, “Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors,” *Food Chem.*, vol. 62, no. 2, pp. 207–215, Jun. 1998, doi: 10.1016/S0308-8146(97)00183-0.
- [10] D. Wijayanto, “Analisis Fraksi Volume Campuran Minyak Jarak (*Jatropha Curcas* Lin) Dengan Minyak Zaitun (*Olea Europaea*) Terhadap Viskositas, Densitas, Kadar Air,” 2020.
- [11] G. Gübitz, “Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L.,” *Bioresour. Technol.*, vol. 67, no. 1, pp. 73–82, Jan. 1999, doi: 10.1016/S0960-8524(99)00069-3.
- [12] F. M. Dayrit *et al.*, “Standards for essential composition and quality factors of commercial virgin coconut oil and its differentiation from RBD coconut oil and copra oil,” *Philipp. J. Sci.*, vol. 136, no. 2, pp. 119–129, 2007.
- [13] R. A. L. Pardede, A. T. Nurcahyati, D. A. A. Arisma, D. K. Indar, I. Hartati, and V. Paramita, “PENGARUH SUHU DAN WAKTU DALAM PROSES BASAH PRODUKSI MINYAK KELAPA MURNI SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN LIPSTIK,” *J. Inov. Tek. Kim.*, vol. 5, no. 1, pp. 110–115, 2020.
- [14] A. Novilla, P. Nursidika, and W. Mahargyani, “Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil) yang Berpotensi sebagai Anti Kandidiasis,” *EduChemia (Jurnal Kim. dan Pendidikan)*, vol. 2, no. 2, p. 161, Jul. 2017, doi: 10.30870/educhemia.v2i2.1447.
- [15] Z. Tazora, K. Syamsu, and O. Suparno, “Quality Improvement of Biodiesel from Rubber Seed Oil by Blending with Biodiesel from *Jatropha curcas* Oil,” Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2011.
- [16] J. K. Mannekote and S. V. Kailas, “The effect of oxidation on the tribological performance of few vegetable oils,” *J. Mater. Res. Technol.*, 2012, doi: 10.1016/S2238-7854(12)70017-0.
- [17] A. Suhane, R. M. Sarviya, A. R. Siddiqui, and H. K. Khaira, “Optimization of Wear Performance of Castor Oil based Lubricant using Taguchi Technique,” *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 2, pp. 2095–2104, 2017, doi: 10.1016/j.matpr.2017.02.055.
- [18] N. D. Jespersen, J. E. Brady, and A. Hyslop, *Chemistry: The Molecular Nature of Matter, 6th Edition*. Wiley, 2011.
- [19] F. D. Haya, S. Sulhadi, and M. P. Aji, “Pembuatan Semak (Semprotan Anti Keruh) Sebagai Alternatif Lapisan Pencegah Kekeruhan Pada Kacamata,” *JIPF (Jurnal Ilmu Pendidik. Fis.)*, vol. 2, no. 1, p. 12, Oct. 2017, doi: 10.26737/jipf.v2i1.198.
- [20] S. Ebnesajjad, *Surface treatment of materials for adhesive bonding*. Oxford: William Andrew, 2014.
- [21] K. G. Kabza, J. E. Gestwicki, and J. L. McGrath, “Contact Angle Goniometry as a Tool for Surface Tension Measurements of Solids, Using Zisman Plot Method. A Physical Chemistry Experiment,” *J. Chem. Educ.*, vol. 77, no. 1, p. 63, Jan. 2000, doi: 10.1021/ed077p63.
- [22] Y. Yuan and T. R. Lee, *Surface Science Techniques*, vol. 51. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [23] Syafa’at, “Tribologi, Daerah Pelumasan dan Keausan,” *Momentum*, vol. 4, no. 2, 2008.
- [24] Zulfahmi, “Analisa Keausan Pahat Bubut Sebelum Dan Sesudah Di Karburasi Menggunakan Serbuk Arang Cangkang Kelapa Sawit,” Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, 2017.
- [25] M. J. Alfani, “Rancang Bangun Alat Uji Tribometer Pin on Disc,” Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, 2017.
- [26] Maftuchah, A. Zainudin, and H. Sudarmo, “Varietas Jarak Pagar JCUMM5,” 00412/PPVT/T/2018 (Tanaman Tahunan), 2018.
- [27] ASTM, “ASTM D7334-08 : Standard Practice for Surface Wettability of Coatings, Substrates and Pigments by Advancing Contact Angle Measurement,” in *book of standards volume 23*, 2022nd ed., ASTM Committee D01, Ed. West

Conshohocken: ASTM International, 2022.

- [28] ASTM, “ASTM G99-95a: Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus,” in *ASTM Standard*, 3rd ed., West Conshohocken: ASTM International, 2000, pp. 1–6.
- [29] M. S. Ma’arif *et al.*, “The Influence of Eugenol in Lubrication Properties of Crude *Jatropha Curcas* Lin,” *Int. J. Integr. Eng.*, vol. 16, no. 2, pp. 164–174, 2024, doi: <https://doi.org/10.30880/ijie.2024.16.02.017>.