

Pengaruh Jenis Oli Pelumas terhadap Laju Keausan pada Kontak Dua Jenis Material

Petrus Londa^{1*}, Deni Mulyana¹, Rudy Y. Widiatmoko¹, Waluyo M. Bintoro¹, Duran Hore²

¹Departemen Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung
Jl. Geger Kalong Hilir Ds. Ciwaruga Bandung 40012 Telp. (022) 2013789
²Departemen Teknik Mesin Politeknik Negeri Kupang
Lasiana, Kec. Klp. Lima Kota Kupang 85258 Telp (0380) 881245 NTT.

*E-mail: petruslonda@yahoo.com

Diajukan: 16-05-2023; Diterima: 19-12-2023; Diterbitkan: 22-12-2023

Abstrak

Penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi kualitas oli pelumas sepeda motor dalam mengatasi gesekan dan keausan yang terjadi. Banyak merek dagang oli pelumas yang ada di pasaran dengan berbagai *standard* seperti SAE, JASO dan API yang bertujuan untuk melumasi bagian dalam mesin sepeda motor. Oleh sebab itu mengetahui kualitas oli pelumas yang digunakan adalah hal yang sangat penting. Penelitian ini menggunakan metode *pin-on ring tribo tester*. Efek dari pelumasan dan jumlah beban yang diberikan menjadi fokus dalam penelitian ini. Material yang digunakan dalam pengujian adalah aluminium sebagai bahan *pin* dan besi cor digunakan sebagai bahan *ring*. Sedangkan oli pelumas dari SAE 10W40, SAE 20W50 untuk gesekan tinggi dan SAE 10W30, SAE 20W40 untuk gesekan rendah. Prosedur pengujian dikondisikan pada *constant load* dan *increment load* dalam durasi waktu 120 menit. Hasil dari *tribological test* ini dibandingkan dengan *stribeck curve* dan terlihat bahwa SAE 10W40, SAE 20W40, SAE 20W50 mampu melumasi permukaan kontak sementara SAE 10W30 koefisien geseknya meningkat akibat oli yang tidak dapat masuk ke permukaan kontak.

Kata kunci: keausan; pelumas; sepeda motor; *standard* oli; *tribo tester*.

Abstract

This study was designed to evaluate the quality of motorcycle lubricating oil in overcoming friction and wear. There are so many lubricating oil brands on the market with various standards such as SAE, JASO and API that aim to lubricate the inside of a motorcycle engine. Therefore knowing the quality of the lubricating oil will be used is very important. This study using the pin-on ring tribo tester method. The effect of lubrication and amount of load applied is the focus of this study. The material used in this testing is aluminum as the pin and cast iron is used as the ring. While the lubricating oil using SAE 10W40, SAE 20W50 for high friction and SAE 10W30, SAE 20W40 for low friction. The test procedure is conditioned at constant load and increment load for 120 minutes. The results of this tribological test are compared with the stribeck curve and it can be seen that SAE 10W40, SAE 20W40, SAE 20W50 are able to lubricate the contact surface while SAE 10W30's coefficient of friction increases due to oil not being able to enter the contact surface.

Keywords: wear and tear; lubricants; motorcycle; oil standards; *tribo tester*.

1. Pendahuluan

Pelumas yang digunakan untuk melumasi bagian dalam motor bakar memiliki kemampuan seperti, *vocosity* tahan pada temperatur tinggi, melumasi dan mencegah keausan, tahan terhadap oksidasi, mendinginkan komponen mesin dan tidak berbusa [1]. Jika lapisan pelumas pada kontak dua permukaan mengalami kerusakan maka panas, gesekan akan timbul dengan cepat dan menyebabkan berbagai macam mekanisme keausan, seperti *mocro pitting*, *abrasive wear*, *scoring*. [2]. Melihat peran pelumas dalam melumasi bagian dalam motor bakar terutama mesin sepeda motor, maka pemilihan pelumas yang berkualitas menjadi hal yang sangat penting. Penelitian ini akan mengevaluasi laju keausan (*abrasive wear*) pada material uji menggunakan *pin-on ring tribo tester* dengan variasi: waktu, pelumas dan beban.

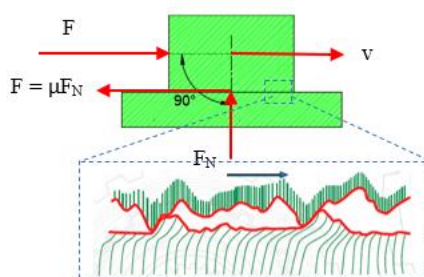
1.1 Kualitas pelumas

Kandungan pelumas terdiri dari *base oil* dan *additive*. *Additive* adalah sejenis material yang ditambahkan pada *base oil*, biasanya digunakan untuk modifikasi *viscosity index*, *anti wear* dan mencegah kontaminasi jelaga hasil pembakaran

dan meningkatnya temperatur [3], [4]. Parameter terpenting dalam *base oil* adalah *viscosity*, indikator kualitas oli dalam hubungannya dengan temperatur disebut *viscosity index* (V.I). V.I. yang terlalu tinggi menyebabkan pelumas tidak dapat mengalir pada suhu dingin karena terlalu kental [5]. Mengenai kualitas oli ini, *Society of Automotye Engineers* (SAE) mengklasifikasikan oli dalam *viscosity grade*, yaitu *multigrade*, seperti SAE 20W40; oli ini berfungsi dibawa variasi suhu, disini “W” berarti *Winter*. Nilai disebelah kiri “W” menunjukkan *performance* oli pada temperatur rendah dan nilai disebelah kanan “W” pada temperatur tinggi, sedangkan oli *monograde* seperti SAE 30 hanya memiliki satu *performance* [6], saat ini sebagian besar oli mesin menggunakan *multigrade* [7]. *Japan Automobile Standard Organization* (JASO) mengembangkan sistem pelumas untuk sepeda motor. yang digunakan pada kopling dengan variasi gesekan seperti: JASO MA (gesekan tinggi) untuk kopling yang terendam dalam oli, JASO MB (gesekan rendah) untuk kopling kering seperti pada motor *matic* (skuter) [8]. *American Petroleum Institute* (API) menetapkan *standard* oli berdasarkan *Service Classification* yang bertujuan untuk memproteksi oksidasi, keausan, korosi, *anti-foam*, menghindari pembentukan asam dan kerak dengan tujuan meningkatkan performa mesin, konsumsi bahan bakar lebih efisien dan emisi yang rendah. Sejak 1920 API *Service* menetapkan level oli (*grading*) dalam abjad SA, dimana S adalah *standard for spark ignition*, hingga 2017 level oli sudah mencapai abjad SN. Semakin tinggi abjad dalam API *Service* semakin baik kualitas oli [9].

1.2. Gesekan

Gesekan adalah hambatan gerakan suatu permukaan yang kontak terhadap permukaan lain [10]. Gesekan dapat menimbulkan beberapa mode keausan seperti *abrasive wear*, *adhesive wear* dll [11]. Jika dua permukaan benda saling bersentuhan maka akan timbul gaya gesek. Gaya ini dapat diurai menjadi tiga kondisi: (1) gaya tangensial $F < \mu_s F_N$, gaya tersebut dinamakan gaya gesek statis dan kondisi benda cenderung tidak bergerak, (2) gaya tangensial $F = \mu_s F_N$ kondisi tersebut dinamakan *full slip (critical force)*, (3) setelah gaya gesek statis terlampaui maka gaya tersebut dinamakan gaya gesek kinetik dimana $F = \mu_k F_N$ dan μ_k hampir sama dengan μ_s [12]. Gambar 1 menunjukkan bahwa setiap permukaan jika dilihat dengan *microscop* memiliki permukaan kasar, artinya kedua permukaan hanya kontak pada titik-titik yang lebih tinggi atau *contact spot*. Titik-titik pada permukaan yang tingginya tidak sama disebut *asperity*, sehingga jika gaya F terus berusaha untuk mendorong benda maka *asperity* akan terpotong sehingga benda bergerak. Terpotongnya *asperity* pada kontak permukaan ini disebut keausan.



Gambar 1. Kondisi permukaan kontak [13]

Keausan adalah proses berkelanjutan dimana material terdegradasi setiap siklus. Banyak cara yang dilakukan untuk mengukur *wear resistance* dan *wear rate* seperti *wear measuring equipments*, *mathematical modeling*, *tribo-meters* dan *simulations*. Variasi dari gesekan dan laju keausan ini sangat tergantung dari kondisi pengujian seperti: *normal load*, *geometri*, *relative surface motion*, *sliding speed*, *surface roughness*, *type of material*, *system rigidity*, *temperature*, *lubrication* dan *vibration* [14]. Pada penelitian ini akan dilihat mode keausan *abrasive (abrasive wear)* dengan menggunakan persamaan *specific wear rate* seperti diperlihatkan pada persamaan 1 [15], dimana: W_s adalah *specific wear*

rate, Δ_m adalah *material mass loss*; diperoleh dengan menghitung selisih antara *massa pin* sebelum dan setelah pengujian, F adalah beban, L adalah *sliding distance* dan ρ adalah *material density*.

$$W_s = \frac{\Delta_m}{FL\rho} \left[\frac{mm^3}{Nm} \right] \quad (1)$$

1.3. Pelumasan mesin

Pelumasan pada mesin adalah cara menempatkan pelumas untuk membawa beban tekan dari kedua permukaan sehingga mengurangi keausan salah satu atau kedua permukaan kontak yang bergerak *relative* satu sama lain [16]. Fenomena pelumasan pada permukaan kontak ini dapat dijelaskan dengan *stribeck curve*. Menurut teori *Reynolds lubrication* bahwa *friction coefficient* (μ) yang ditunjukkan dalam persamaan 2 adalah proporsional terhadap *Sommerfeld number* (S) seperti ditunjukkan dalam persamaan 3 [17], dimana: F_f adalah gaya gesek, η adalah *lubricant viscosity*, U adalah *sliding velocity*, R adalah *length scale characterising the curvature of the surfaces* dan W adalah *normal load*.

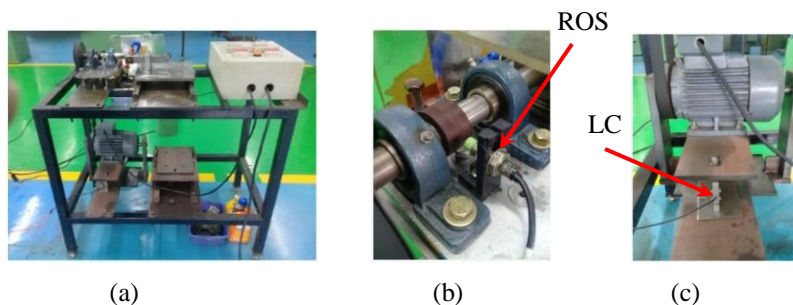
$$\mu = \frac{F_f}{W} \quad (2)$$

$$S \equiv \frac{\eta UR}{W} \quad (3)$$

2. Material dan metodologi

2.1. Metode eksperimen

Eksperimen dilakukan pada mesin *pin-on ring tribo tester* yang ada di Politeknik Negeri Bandung (POLBAN) seperti Gambar 2a, mesin dilengkapi dengan *Reflective Optic Sensor* (ROS) untuk *digital monitoring rpm* seperti Gambar 2b dan *monitoring* gaya gesek menggunakan *Load Cell* (LC) seperti pada Gambar 2c. Sistem pembebanan menggunakan meja *linear* sehingga memungkinkan benda uji *pin* menekan pada *ring* yang sedang berputar dan beban dapat dipantau menggunakan timbangan *digital* dengan ketelitian sampai 0,001 Kg. Mesin dilengkapi juga dengan pompa oli untuk mensirkulasikan oli ke bidang kontak. Kapasitas mesin dapat mencapai 3000 rpm dan beban maksimal 500 Newton.



Gambar 2. (a), (b) dan (c) *Tribo tester pin-on ring machine*.

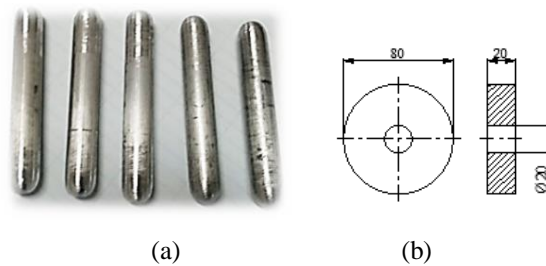
2.2. Material penelitian

Material *pin* dari bahan aluminium dengan *density* 2,700 [Kg.m⁻³] [18], komposisi kimia seperti pada Tabel 1. Bentuk *pin* seperti pada Gambar 3a, panjang 65 mm, diameter 10 mm dan radius ujung 5 mm. *Ring* dari besi cor dengan komposisi kimia seperti dalam Tabel 2 dan geometrinya seperti Gambar 3b. Material oli terdiri dari SAE 10W40, SAE 20W50, SAE

10W30 dan SAE 20W40 seperti dalam Gambar 4a. Pengujian viskositas oli pada Tabel 3, dilakukan di laboratorium fisika POLBAN dengan menggunakan *Viscometer Rion VT 06*, seperti dalam Gambar 4b.

Tabel 1. Komposisi kimia untuk material aluminium.

No.	Unsur kimia	Komposisi (%)	No.	Unsur kimia	Komposisi (%)
1.	Si	0,07591	8	Cr	0,08302
2.	Fe	0,23941	9	Ni	0,00453
3.	Cu	0,00719	10	Sn	0,00026
4.	Mn	0,65609	11	Zr	0,00105
5.	Mg	3,98841	12	V	0,00564
6.	Zn	0,00658	13	Sb	0,00686
7.	Ti	0,06681	14	Al	94,90950



Gambar 3. (a) dan (b) Geometri material uji.

Tabel 2. *eZAF Smart Quant Results* besi cor.

Elemen	Weight (%)	Atomic (%)	Net Int	Error (%)	K ratio	Z	R	A	F
CK	32.62	69.43	867.59	7.38	0.2484	1.1584	0.9306	0.5032	1.0000
OK	11.11	13.59	298.82	8.58	0.0560	1.0976	0.9532	0.4591	1.0000
FeL	44.03	15.42	598.72	5.06	0.2745	0.8185	1.0962	0.7632	0.9979
SiK	2.24	1.56	101.22	8.60	0.0190	0.9790	1.0008	0.8640	1.0038



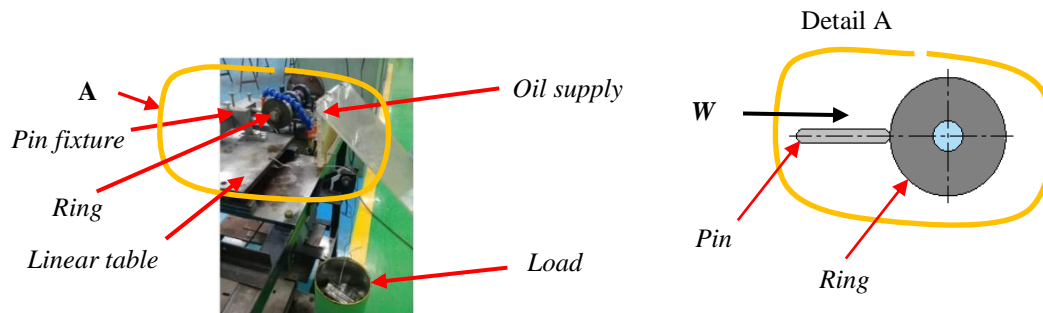
Gambar 4. (a) *Speciment* oli, (b) alat uji viskositas.

Tabel 3. Viskositas oli dan keausan *pin*.

No.	Sampel oli	Viskositas [dPa.s]	Keterangan	Keausan <i>pin</i> (Δm) [gram]	
				Beban konstan	Beban <i>increment</i>
1	SAE 10W30	1.3	dPa.s adalah: <i>deciPascal</i> <i>second</i>	0.19	0.1
2	SAE 10W40	1.7		0.1	0.06
3	SAE 20W40	2.1		0.02	0.01
4	SAE 20W50	3.3		0.05	0.03

2.3. Prosedur penelitian

Penelitian diawali dengan mengukur berat awal *pin* menggunakan timbangan digital berkapasitas 100 gram dengan ketelitian 0,01 gram. Selanjutnya melakukan *set-up* mesin dengan mengatur putaran mesin pada 1000 rpm, kemudian mesin dimatikan dan mengatur pembebanan serta mensirkulasikan oli ke bidang kontak antara *pin* dan *ring*. Setelah *pin* dan *ring* kontak dibawa pembebanan (dapat dilihat pada detail A) dan oli disirkulasikan kebidang kontak, maka mesin dihidupkan kembali, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 5. Durasi pengujian untuk beban konstan dilakukan selama 120 menit dengan beban 3 kg. Data keusan (Δm) pada Tabel 3 diambil dengan cara mengukur kemabali berat *pin* setelah pengujian dan gaya gesek dicatat dari *display* mesin secara acak selama pengujian. Selanjutnya untuk beban *increment* dilakukan setiap 40 menit dengan durasi 40 menit pertama beban 1 kg, 40 menit kedua beban 2 kg dan 40 menit ketiga beban 3 kg. Rangkuman parameter pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 5. Set-up mesin.

Tabel 4. Parameter operasi untuk pengujian pada *pin-on ring test rig*.

Test rig	Speed [rpm]	Sampel oli	Loading condition							
			Constant		Increment					
			Load [Kg]	Time [min]	Load [Kg]			Time [min]		
Pin on ring	1000	SAE 10W30	3	120	1	2	3	40	80	120
		SAE 10W40			1	2	3	40	80	120
		SAE 20W40			1	2	3	40	80	120
		SAE 20W50			1	2	3	40	80	120

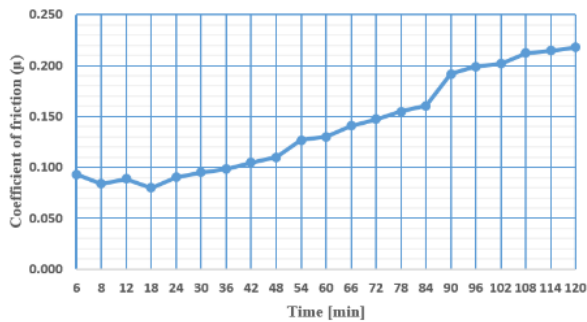
3. Hasil dan pembahasan

Setelah melakukan serangkaian eksperimen, maka diperoleh data keausan *pin* yang diperlihatkan dalam Tabel 3. Nilai *specific wear rate* (W_s) atau *wear factor* untuk beban konstan dan beban *increment* yang ditunjukkan dalam Tabel 5 dapat dihitung dengan persamaan (1), nilai pada table tersebut mengindikasikan *wear properties* dari *sliding bodies* dipengaruhi oleh beban normal, *sliding distance* dan *material density*. Selain itu nilai tersebut juga menggambarkan W_s tertinggi terjadi pada kontak dengan menggunakan pelumas SAE 10W30 baik pada beban konstan maupun pada beban *increment*, sedangkan W_s terendah terjadi pada kontak dengan menggunakan pelumas SAE 20W40.

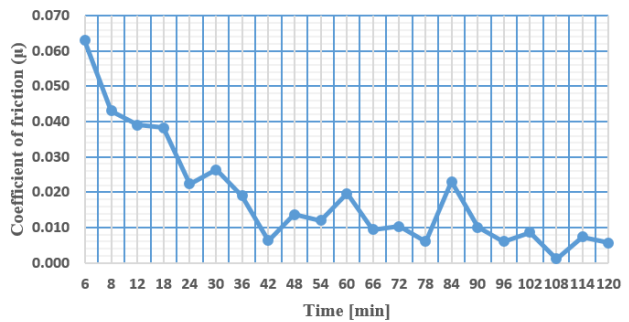
Tabel 5. Nilai *Specific wear rate*.

No.	Sampel oli	Material mass loss (Δm) [Kg]		Specific wear rate (W_s) [m^3/Nm]	
		Beban konstan	Beban <i>increment</i>	Beban konstan	Beban <i>increment</i>
1	SAE 10W30	1.90E-04	1.00E-04	7.78E-14	4.09E-14
2	SAE 10W40	1.00E-04	6.00E-05	4.09E-14	2.46E-14
3	SAE 20W40	2.00E-05	1.00E-05	8.19E-15	4.09E-15
4	SAE 20W50	5.00E-05	3.00E-05	2.05E-14	1.23E-14

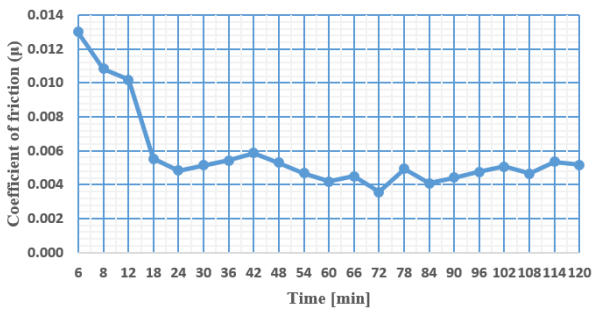
Selanjutnya nilai koefisien gesek untuk masing-masing jenis oli pada beban konstan dapat dihitung menggunakan persamaan (2), hasil perhitungan tersebut diperlihatkan dalam bentuk grafik seperti dalam Gambar 6 (a, b, c, d).



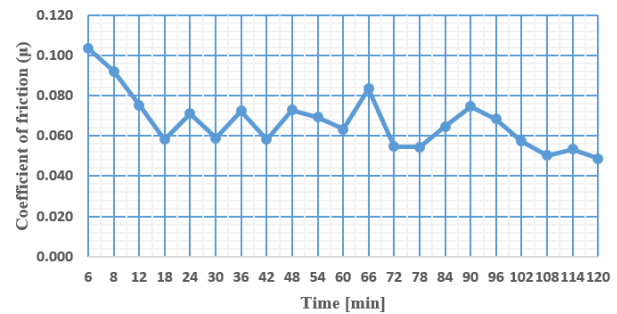
(a). SAE 10W30



(b). SAE 20W40



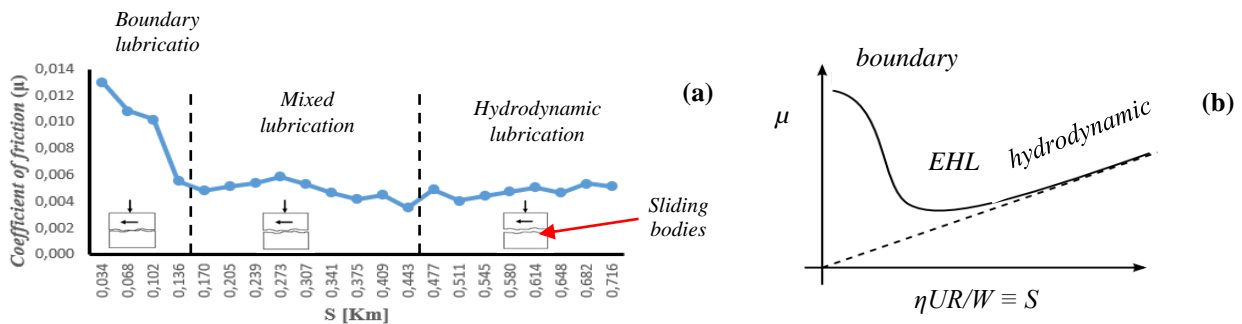
(c). SAE 10W40



(d). SAE 20W50

Gambar 6. Grafik koefisien gesek vs waktu.

Jika diperhatikan, gaya gesek cenderung menurun dengan bertambahnya waktu *sliding*, hal ini disebabkan oleh pelumas yang mampu menjangkau permukaan kontak. Namun pada pelumas SAE 10W30 gaya gesek cenderung meningkat dengan bertambahnya waktu *sliding*, hal ini akibat pelumas tidak dapat masuk ke permukaan *sliding*. Untuk melihat kondisi pelumasan dipermukaan *sliding* antara *pin* dengan *ring* kita dapat membandingkannya dengan *Stribeck Curve* seperti pada Gambar 7b. Parameter pengujian untuk Gambar 7a adalah beban normal 30 N, diameter *ring* 80 mm, kecepatan *ring* 4,19 m/s, *spray lubrication*, *test length* 0,72 Km dan viskositas oli 0,17 Ns/m.



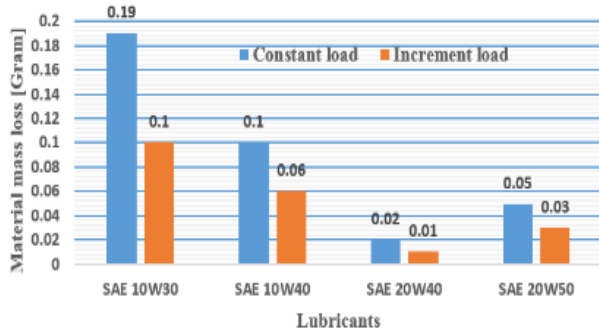
Gambar 7. Stribeck curve untuk SAE 10W40.

Curve ini merupakan perbandingan antara koefisien gesek (μ) terhadap *Sommerfeld number* (S), nilai *Sommerfeld number* (S) diperoleh dari persamaan (3) dan hasilnya diperlihatkan dalam Tabel 6. Curve ini juga menunjukkan bahwa pelumas tersebut mampu melumasi permukaan kontak dengan tahapan pelumasan yang sempurna diawali dari *boundary*

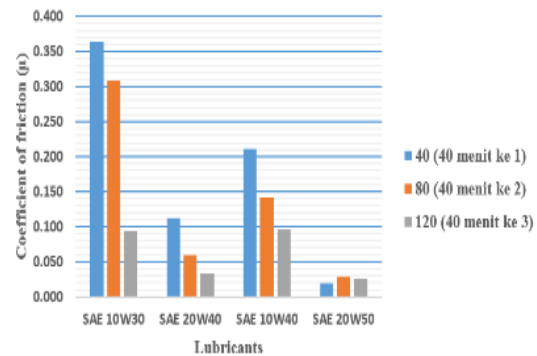
lubrication, mixed lubrication dan hydrodynamic lubrication, dimana secara bertahap lapisan pelumas masuk diantara permukaan *sliding*.

Tabel 6. Hasil perhitungan *Sommerfeld number (S)*.

No.	Sampel oli	Viskositas (η) [Ns/m]	U[m/s]	R [m]	W [N]	S [m]	S [Km]
1	SAE 10W30	0,13	4,19	30159,3	30	547,59	0,55
2	SAE 10W40	0,17	4,19	30159,3	30	716,08	0,72
3	SAE 20W40	0,21	4,19	30159,3	30	884,57	0,88
4	SAE 20W50	0,33	4,19	30159,3	30	1390,04	1,39



Gambar 8. Variasi keausan *pin* terhadap jenis oli.

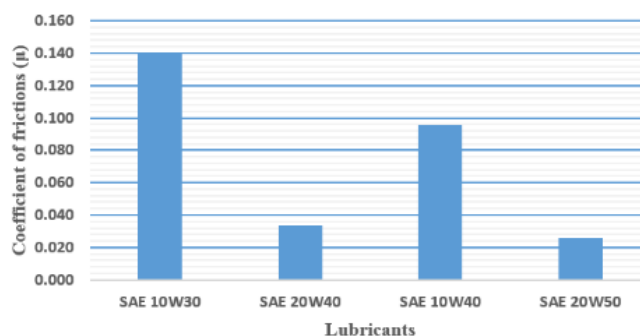


Gambar 9. Variasi koefisien gesek terhadap jenis oli.

Keausan yang terjadi pada *pin* ketika dikenakan beban konstan dan beban *increment* dari masing-masing pelumas yang digunakan dapat dilihat dalam Gambar 8. Secara keseluruhan keausan tertinggi terjadi ketika *pin* mendapatkan beban konstan dengan pelumas SAE 10W30; dan untuk beban *increment*, keausan tertinggi juga terjadi ketika menggunakan SAE 10W30. Sedangkan keausan terendah ketika menggunakan SAE 20W40 baik pada beban konstan maupun pada beban *increment*.

Selanjutnya variasi koefisien gesek yang terjadi pada *pin* dan *ring* ketika dikenakan beban *increment*. Hasil pengujian diperlihatkan dalam Gambar 9. Grafi pada gambar tersebut memperlihatkan bahwa gesekan tertinggi terjadi pada SAE 10W30 untuk pengujian 40 meni ke 1 dan 40 ke 2, diikuti dengan SAE 10W40. Sedangkan untuk SAE 20W40 gesekanya tidak terlalu tinggi pada 40 menit ke 1 dan diikuti dengan SAE 10W40 dan SAE 10W30 pada pengujian ke 3. SAE 20W50 gesekanya sangat rendah pada pengujian ke 1 dan gesekan sedikit meningkat pada pengujian ke 2 dan ke 3 dan SAE 20W40 gesekanya lebih tinggi pada pengujian ke 3 jika dibandingkan dengan SAE 20W50.

Sementara itu variasi koefisien gesek terhadap jenis oli pada beban konstan ditampilkan dalam Gambar 10, dimana koefisien gesek tertinggi terjadi pada SAE 10W30 dan terendah pada SAE 20W50.



Gambar 10. Variasi koefisien gesek terhadap jenis oli.

4. Kesimpulan

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan dengan metode *pin-on ring tribo tester*, keausan yang terjadi pada *sliding bodies* sangat bervariasi berdasarkan jenis pelumas yang digunakan. Pada pembebanan konstan dan pembebanan *increment*, W_s terbesar terjadi pada pelumas SAE 10W30 diikuti secara berturut-turut oleh SAE 10W40, SAE 20W50 dan SAE 20W40. Nilai koefisien gesek (μ) pada *sliding bodies* cenderung meningkat jika menggunakan SAE 10W30 dan cenderung menurun jika menggunakan SAE 10W40, SAE 20W50 dan SAE 20W40. *Material mass loss* (Δm) pada *constant load* dan *increment load* juga menunjukkan SAE 10W30 lebih tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] H. K. Trivedi and D. V. Bhatt, "Effect of lubricating oil on tribological behaviour in pin on disc test rig," *Tribol. Ind.*, vol. 39, no. 1, pp. 90–99, 2017, doi: 10.24874/ti.2017.39.01.10.
- [2] S. Lee and M. Amarnath, "Experimental investigations to establish correlation between Stribeck curve , specific film thickness and statistical parameters of vibration and sound signals in a spur gear system," no. June 2014, 2016, doi: 10.1177/1077546314544164.
- [3] P. Andersson, J. Tamminen, and C.-E. Sandström, "Piston ring tribology A literature survey," 2002.
- [4] P. Olander, *Tribology for Greener Combustion Engines*. 2018. [Online]. Available: <https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1161025/FULLTEXT01.pdf>
- [5] V. W. Wong and S. C. Tung, "Overview of automotive engine friction and reduction trends – Effects of surface, material , and lubricant-additive technologies," vol. 4, no. 1, pp. 1–28, 2016, doi: 10.1007/s40544-016-0107-9.
- [6] D. D. Mukherjee, "Multigrade Oil & Viscosity Index Improvers," *Leugner, L. Pract. Handb. Mach. Lubr. Maint. Technol. Int. Inc., Edmonton, Alberta, Canada Fitch, E. Proactive Maint. Mech. Syst. FES, Inc., Stillwater*, no. 43, 2005.
- [7] K. Alhaifi, A. I. Abed, and N. Alhaifi, "Optimization of Different Grades Engine Oil Viscosity American Journal of Engineering Research," no. 5, pp. 269–273, 2017.
- [8] S. Number, "TECHNICAL BULLETIN," no. February, 2015.
- [9] NewsRoom.AAA.com, *AAA ENGIN OIL RESEARCH*, no. May. 2017.
- [10] Jorn Larsen, *Introduction to Friction*. 1992. doi: 10.1007/978-0-387-92897-5_724.
- [11] V. Ojijo and E. R. Sadiku, "Improving wear resistance of polyolefins," 2017. <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/tribological-process>
- [12] V. L. Popov, *Contact Mechanics and Friction*. 2010.
- [13] F. Al-Bender and K. De Moerlooze, "CHARACTERIZATION AND MODELING OF FRICTION AND WEAR : AN OVERVIEW," pp. 19–28, 2011.
- [14] M. S. Khan, Z. Hasan, and Y. A. Ansari, "Statistical Analysis for the Abrasive Wear Behavior of Al 6061," *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 02, no. 04, pp. 292–299, 2014, doi: 10.4236/jmmce.2014.24034.
- [15] T. F. De Andrade, H. Wiebeck, and A. Sinatora, "Effect of surface finishing on friction and wear of Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK) under oil lubrication," *Polimeros*, vol. 26, no. 4, pp. 336–342, 2016, doi: 10.1590/0104-1428.2183.
- [16] M. A. Abdullah, S. A. Saleman, N. Tamaldin, and M. S. Suhaimi, "Reducing wear and friction by means of lubricants mixtures," *Procedia Eng.*, vol. 68, pp. 338–344, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.12.189.
- [17] P. B. Warren, "Scaling theory for hydrodynamic lubrication, with application to non-Newtonian lubricants," pp. 1–6, 2015.
- [18] A. Samuel and J. Weir, *Introduction to Engineering Design Special Acknowledgment Acknowledgment*, no. November. Elsevier Science & Technology Books, 1999.