



Terbit online pada laman web jurnal : <http://metal.ft.unand.ac.id>

METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal

| ISSN (Print) 2598-1137 | ISSN (Online) 2597-4483 |



Artikel Penelitian

Kondisi Running-in Pada Sliding Contact Dengan Variasi Pelumas Berbahan Minyak Kelapa

Dedison Gasni^a, Brento Napitupulu^b

^aJurusan Teknik Mesin, Kampus Limau Manis, Padang 25163, Indonesia

^bMahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Kampus Limau Manis, Padang 25163, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 03 September 2019

Revisi Akhir: 25 September 2019

Diterbitkan Online: 04 Oktober 2019

KATA KUNCI

Running-in
Point contact
Kurva bathtube
Laju keausan
Minyak kelapa

KORESPONDENSI

E-mail: dgasni@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

Bathtub curves are often used by reliability engineers to describe the life of a product's population. This graphical representation of the bathtub curve can be divided into 3 phases. The first phase of the curve is infant mortality failure which is characterized by decreasing failure rate. The second phase is normal life or useful life which the failure rate is approximately constant. Finally, the third phase is wearout failures and it is assumed that failure rate increases. To observe the running-in periode, a pin on disc test was conducted based on the ASTM G99 standard, where the disk rotates and the pin is loaded. So that the relative motion occurs between the pin and disk with a point contact. Between the surface of the disk and the pin is lubricated with several types of lubricant. Tests carried out for 30 minutes with a time interval of data collection every 6 minutes. From the results of tests, in the phase of running-in periode shows that the wear rate in the first 6 minutes was very high and it tends to decrease exponentially. Lubricant could influence the wear rate and surface texture of the discs in the running-in periode as well.

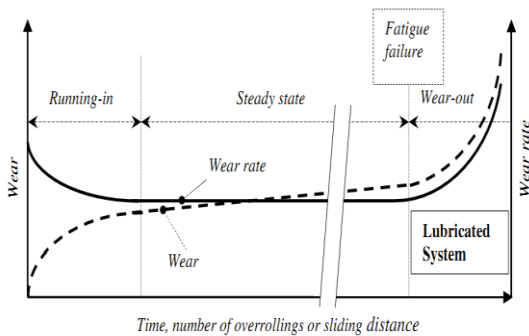
1. PENDAHULUAN

Reability engineering berkaitan dengan keandalan komponen mesin, produk dan sistem dalam melakukan fungsinya dalam periode waktu tertentu tanpa mengalami kegagalan [1]. *Reability engineering* menggabungkan berbagai teknik analisis yang dirancang untuk membantu seorang insinyur dalam memahami modus, pola dan kegagalan komponen mesin, produk dan sistem. Pada komponen mesin, salah satu bentuk

kegagalan yang sering terjadi adalah keausan (*wear*) yang disebabkan oleh adanya gesekan. Gesekan ini terjadi akibat adanya kontak mekanik antara dua komponen mesin yang bergerak secara relatif satu sama lain. Kontak yang terjadi antara komponen mesin dapat berupa *static contact*, *rolling contact*, dan *sliding contact*. Jenis kontak seperti itu dapat dijumpai pada beberapa komponen mesin, seperti : kontak yang terjadi antara *ball* dengan *inner race* dan *outer race* pada

ball bearing, kontak antara piston dan dinding silinder, kontak antara gigi-gigi pada roda gigi, dan kontak antara pin dengan *camshaft* dan batang penghubung pada motor bakar. Untuk mengamati pola kegagalan akibat keausan dari komponen mesin tersebut mulai saat komponen mesin tersebut beroperasi sampai mengalami kegagalan dapat dilihat pada kurva *bathtub* (Gambar 1).

Gambar 1 memperlihatkan laju kegagalan pada komponen mesin yang dilumasi akibat keausan. Keausan tertinggi terjadi pada saat komponen mesin pertama kali dioperasikan, dimana bentuk kegagalan ini dikenal dengan *infant mortality failure*.



Gambar 1. Kurva *bathtub* [2]

Dari kurva *bathtub* ini juga dapat dilihat laju keausan yang terjadi pada komponen mesin akibat adanya kontak antara dua permukaan, mulai dari komponen mesin mulai dioperasikan sampai berakhirnya umur komponen mesin tersebut. Laju keausan pada komponen mesin dapat dibagi dalam tiga fase, yaitu fase *running-in*, fase *steady state* (fase tunak) dan fase *wear-out*. Ketika kedua permukaan mengalami kontak untuk pertama kali di bawah pembebanan dan bergerak secara relatif terhadap yang lainnya, maka perubahan kondisi permukaan akan terjadi berupa keausan. Keausan terus meningkat terhadap waktu sampai mencapai sebuah kondisi yang disebut dengan *steady state* (fase tunak), dimana kondisi mencapai keseimbangan ditandai dengan laju keausan yang konstan. Perubahan laju keausan yang terjadi pada saat kontak pertama kali terjadi pada komponen

mesin sampai laju keausan mencapai kondisi *steady state* disebut dengan kondisi *running-in*.

Penelitian mengenai kondisi *running-in* telah dilakukan oleh para peneliti, seperti Nana Supriana *et. al.* [3] dimana mereka mengamati bagaimana pengaruh kekasaran permukaan pada kondisi *running-in* yang terjadi pada line kontak antara aluminium dan baja S45C. Peneliti lain, seperti Akbar Zadeh *et. al.* [4] mengamati kondisi *running-in* pada kondisi *rolling contact* dan *sliding contact*. Pada tulisan ini akan dilakukan penelitian untuk mengamati kondisi *running-in* yang terjadi antara dua material yang saling kontak yang dilumasi dengan variasi pelumas berbahan dasar minyak kelapa, berupa *point contact* dalam bentuk *sliding contact*. Untuk mengamati kondisi *running-in* yang terjadi pada poin kontak akan dilakukan pada alat uji *pin-on-disc* berdasarkan standar ASTM G99. Pengamatan dilakukan dengan mengukur volume yang aus pada permukaan disk yang dilumasi dengan berbagai jenis minyak kelapa, menentukan laju keausan, dan pengamatan tekstur permukaan dari permukaan disk yang aus.

2. METODOLOGI

2.1. Spesimen Untuk Pin dan Disk

Spesimen untuk alat uji terdiri dari bola baja dengan diameter 19 mm, berguna sebagai pin, yang akan berkontak dengan permukaan disk, dapat dilihat pada Gambar 2. Untuk mengetahui karakteristik dari pin dilakukan pengujian kekerasan dari pin tersebut. Spesifikasi teknis dari pin dapat dilihat pada Tabel 1.

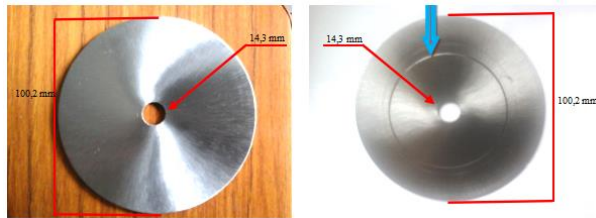
Tabel 1 Spesifikasi teknis dari pin

No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	Tipe	<i>pin (ball bearing)</i>
2.	Material	<i>stainless steel 440C</i>
3.	Kekerasan	610 BHN
4.	Diameter	6 mm



Gambar 2. Spesimen pin

Disk terbuat dari baja karbon rendah dengan diameter 100 mm dengan tebal 2 mm, disk berguna sebagai media yang akan berkontak langsung dengan pin. Bentuk dari spesimen disk dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Spesimen disk

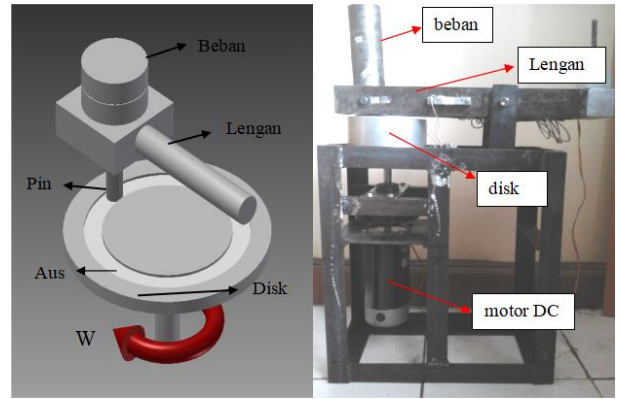
Untuk mengetahui karakteristik dari disk telah dilakukan pengujian, seperti pengujian kekasaran permukaan, kekerasan permukaan, dan komposisi material. Spesifikasi teknis dari disk dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi teknis dari disk

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Dimensi disk	Diameter luar 100,2 mm, diameter dalam 14,4 mm, tebal 4,3 mm
2	kekerasan	145 BHN
3	kekasaran	0.751 Ra
4	material	AISI 1015
5	Komposisi kimia disk	99 % Fe dan 0.156 % C

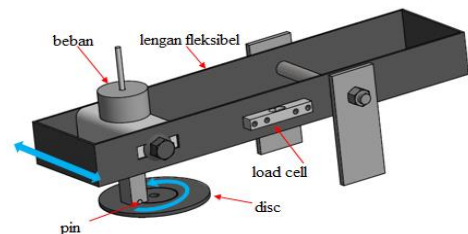
2.2. Pengujian Gesek

Spesifikasi teknis dan bentuk alat uji *pin-on-disc* dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Alat uji *pin on disc*

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji tribometer tipe *pin on disc*. Pin diletakkan di atas disk yang diputar dengan menggunakan motor. Kecepatan motor dijaga konstan sebesar 1200 rpm, dengan beban konstan sebesar 30 N dan diasumsikan kekasaran permukaan dari disk seragam. Pada pengujian nantinya ada tahapan yang harus dilakukan sebelum dilakukan pengujian dengan menggunakan alat tribometer jenis *pin-on-disc*. Volume keausan dan kekasaran permukaan disk diukur dengan menggunakan alat *surface roughness tester*. Untuk melihat kekasaran permukaan awal, dilakukan pengamatan dengan menggunakan *microscope optic* dengan perbesaran 200 μm . Selama pengujian berlangsung dilakukan pengamatan massa setiap 6 menit pertama. Dalam hal ini, spesimen ditimbang, untuk melihat perubahan massa yang hilang pada disk sebelum dan sesudah dilakukan pengujian (Δm). Waktu total yang dibutuhkan untuk pengujian satu spesimen adalah 30 menit. Untuk skema pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skematik pengujian keausan

2.3 Minyak Pelumas

Cairan Pelumas yang digunakan terbuat dari minyak kelapa. Minyak kelapa diperoleh dengan 2 cara proses pembuatan, yaitu:

- a. Proses basah : diperoleh dari santan kelapa, yang kemudian melalui proses fermentasi alamiah akan menghasilkan VCO (*virgin coconout oil*) atau yang disebut minyak kelapa murni, kemudian dengan proses perebusan sampai kandungan air dari kelapa habis, sehingga akan menghasilkan minyak tanak (HCO).
- b. Proses kering: diperoleh dari kopra yang dipress sehingga menghasilkan minyak kopra (RCO).

Data viskositas untuk ketiga minyak pelumas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel viskositas dari minyak pelumas [5]

No.	Minyak Pelumas	Viskositas 40°C, cSt	Viskositas 100°C, cSt
1.	VCO	25,82	5,664
2.	HCO	26,44	5,391
3.	RCO	25,33	5,754

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kondisi *running-in* telah dilakukan dengan menggunakan alat uji *pin-on-disc*. Dimana disk memiliki diameter luar sebesar 100 mm dan *pin* berdiameter sebesar 19 mm, dengan kekasaran permukaan rata-rata (Ra) sebesar 0.751 μm . Pengamatan keausan dilakukan selama 30 menit. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan jenis pelumas, dimana pelumas yang digunakan adalah minyak HCO, VCO, dan RCO. Beban dan kecepatan motor konstan, hasil pengujian *wear* diamati dengan menggunakan *microscope optic*.

3.1. Hasil Pengujian Wear

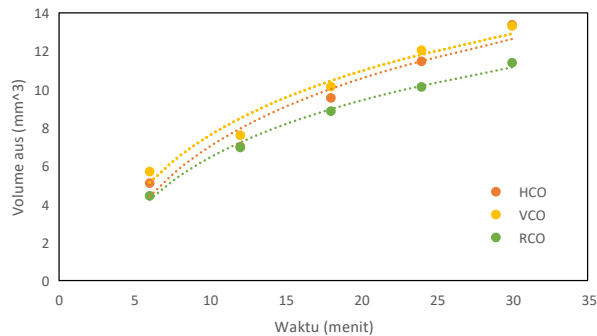
Pengujian *wear* dilakukan pada kondisi putaran motor sebesar 1200 rpm, dengan beban 30 N dan diasumsikan kekasaran permukaan seragam. Untuk dapat mengamati kondisi *running-in* pengujian dilakukan setiap 6 menit, selama 30 menit. Setiap pengujian 6 menit, massa dari spesimen disk ditimbang yang bertujuan untuk melihat perubahan massa yang hilang akibat gesekan.

Pada Gambar 6, garis berwarna orange merupakan hasil pengujian volume keausan dengan menggunakan minyak HCO. Dimana volume keausan meningkat secara parabolik seiring dengan meningkatnya waktu, hal ini sesuai dengan penelitian [7], kemudian diikuti fase dimana keausan yang relatif konstan pada tahap berikutnya. Pada 6 menit pertama nilai keausan yang diperoleh sebesar 5,0955 mm^3 . Setelah 6 menit berikutnya nilai keausan yang diperoleh menunjukkan kecenderungan yang konstan, dengan perubahan volume keausan (Δv) sebesar 2 mm^3 .

Gambar 6 merupakan grafik perbandingan volume keausan dengan menggunakan ketiga jenis minyak kelapa (HCO, VCO, dan RCO). Nilai keausan pada menit ke 6 terbesar terjadi pada penggunaan jenis minyak VCO sebesar 5,732 mm^3 , diikuti dengan HCO sebesar 5,0955 mm^3 , dan RCO sebesar 4,458 mm^3 . Dapat dilihat bahwa volume keausan berbeda-beda terjadi pada ketiga jenis pelumas. Hal ini menunjukkan bahwa jenis pelumas yang digunakan akan mempengaruhi keausan pada disk. Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa sifat fisik dari minyak pelumas berupa viskositas tidak banyak berpengaruh terhadap keausan dari disk, hal ini disebabkan karena daerah regime pelumasan dari disk (1200 rpm) berada didaerah *mixed lubrication* [6] dimana sifat kimia dari pelumas sangat berperan.

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa total volume keausan terbesar tiap menitnya terjadi pada minyak VCO sedangkan yang terkecil terjadi pada minyak RCO. Tetapi total volume yang aus setelah menit ke 30 bernilai sama pada VCO dan HCO sebesar 13,75 mm^2 , hal ini disebabkan karena pada minyak

HCO perubahan volume keausan setelah 6 menit pertama relatif konstan sedangkan pada minyak VCO perubahan volume keausan tidak konstan. Berbeda dengan minyak RCO, dimana perubahan volume keausan mulai menurun dan relatif konstan setelah menit ke 18. Dengan pemakaian minyak RCO dapat mengurangi volume keausan dari disk.



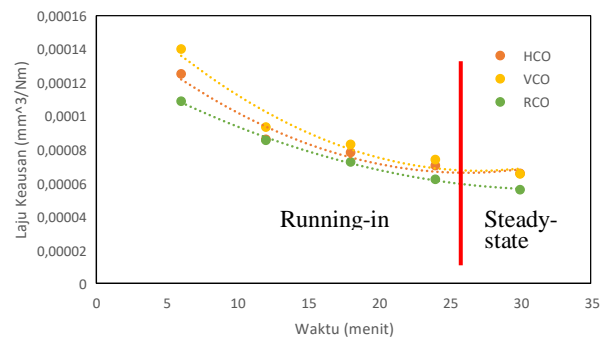
Gambar 6. Grafik perbandingan nilai keausan menggunakan ketiga jenis minyak kelapa (HCO, VCO, dan RCO)

3.2. Hasil Laju Keausan (Wear Rate)

Laju keausan dihitung berdasarkan persamaan Archard [8], dimana nilai k adalah laju keausan dalam satuan mm^3/Nm , Δm adalah selisih massa antara massa sebelum pengujian dan sesudah mengujian, nilai keausan dalam gram (gr), L merupakan jarak sliding dalam m , F merupakan besarnya beban dalam Newton (N) dan ρ adalah densitas dalam gr/mm^3 . Nilai k didapat dari hasil pembagian selisih massa (Δm) dengan jarak sliding (s) yang dikali dengan beban (F) dan ρ .

Pada Gambar 7 garis berwarna orange merupakan laju keausan pelumas HCO yang didapat dari Gambar 6, dengan menggunakan persamaan Archard. Dari grafik tersebut memperlihatkan bahwa laju keausan pada 6 menit pertama sangat tinggi ($0.0001252 \text{ mm}^3/\text{Nm}$) dan dengan berjalannya waktu laju keausan mulai menurun. Dari grafik dapat diprediksi bahwa dengan bertambahnya waktu maka laju keausan cenderung konstan. Sehingga dari grafik tersebut dapat dibagi menjadi dua daerah, daerah bagian kiri merupakan fase *running-in* dan daerah bagian kanan

merupakan fase *steady state*. Fase *running-in* terjadi antara menit ke 12 dan menit ke 24, dimana nilai laju keausan sudah mulai menurun. Nilai yang tinggi di menit awal dipengaruhi oleh terjadinya gesekan antara puncak-puncak *asperity* pada pin dan disk, sehingga puncak-puncak *asperity* terpotong sewaktu bergesekan.

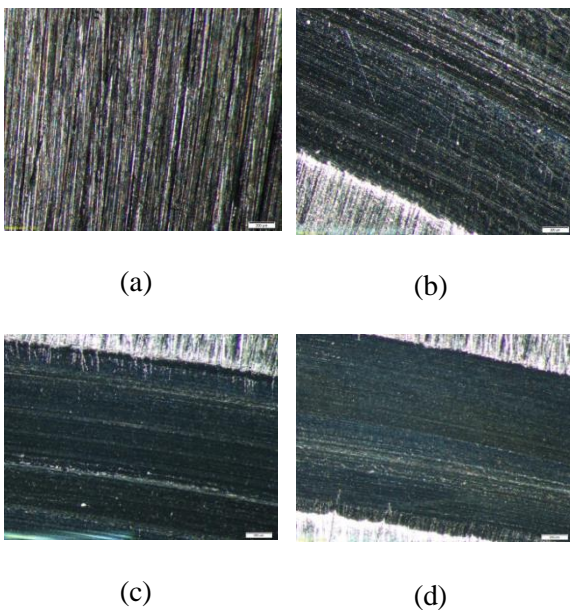


Gambar 7. Grafik perbandingan laju keausan menggunakan ketiga jenis minyak kelapa (HCO, VCO, dan RCO)

Gambar 7 memperlihatkan grafik perbandingan laju keausan dengan menggunakan ketiga jenis minyak pelumas. Dari pengujian yang dilakukan dan perhitungan untuk laju keausan maka dapat dilihat pada Gambar 7, dimana perbandingan nilai laju keausan tertinggi adalah pengujian dengan menggunakan minyak VCO dengan nilai $0.00028 \text{ mm}^3/\text{Nm}$, diikuti dengan HCO dengan nilai $0.00025 \text{ mm}^3/\text{Nm}$, dan RCO dengan nilai $0.00021 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Dari Gambar 6 menunjukkan bahwa selisih nilai volume keausan menggunakan minyak VCO tidak mengalami perubahan yang drastis setelah enam menit pertama, Begitu juga dengan minyak HCO. Dari Gambar 6 juga menunjukkan bahwa penggunaan minyak HCO setelah enam menit pertama menyamai nilai volume keausan dari RCO, namun setelah menit ke 12, selisih perubahan nilai volume keausan tidak begitu besar, grafik cenderung konstan hingga menit ke 30. Berbeda dengan penggunaan minyak kelapa lainnya, RCO menunjukkan perubahan nilai yang terus menurun hingga menit ke 30. Hal ini menunjukkan bahwa minyak RCO mampu menurunkan laju keausan. Dibandingkan dengan HCO dan VCO.

3.3. Kondisi Permukaan (Surface Texture)

Untuk melihat *texture* permukaan dari disk digunakan *microscope optic* dengan perbesaran 200 micrometer. Pada Gambar 8a merupakan permukaan disk sebelum dilakukan proses pengujian dan Gambar 8b, 8c, dan 8d merupakan permukaan disk setelah dilakukan pengujian. Permukaan disk sebelum pengujian cukup kasar, dengan kekasaran permukaan rata-rata (Ra) sebesar 0.751 μm . Dapat dilihat pada Gambar 8b permukaan tergerus mengalami keausan yang disebabkan oleh gesekan dengan *pin*. Lebar keausan yang terbentuk sebesar 5 mm. Terlihat bahwa akibat keausan terbentuk guratan-guratan atau kawah, yang disebabkan oleh disk yang bergesekan dengan *asperity*. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme keausan yang terjadi adalah *abrasive wear*.



Gambar 8. Permukaan disk (a) sebelum pengujian dan setelah pengujian yang dilumasi dengan, (b) HCO, (c) VCO, dan (d) RCO

Pada Gambar 8b, 8c, dan 8d menunjukkan perbandingan permukaan disk setelah pengujian yang dilumasi dengan menggunakan beberapa jenis minyak kelapa. Minyak RCO mampu mempengaruhi laju keausan, dapat dilihat pada Gambar 8d, permukaan yang mengalami keausan tidak terlalu dalam dibandingkan dengan HCO dan VCO, dan minyak RCO menunjukkan permukaan

yang mengalami gesekan cukup halus. Gambar 8a merupakan permukaan menggunakan minyak HCO, bagian yang mengalami keausan cukup dalam dan terbentuk guratan-guratan di tepi bagian yang mengalami aus. Gambar 8c merupakan permukaan menggunakan minyak VCO, kealaman yang ditimbulkan cukup dalam dibandingkan dengan penggunaan minyak HCO dan RCO, tidak hanya itu saja permukaan yang mengalami gesekan kasar dan bergelombang.

3.4. Pembahasan

3.4.1. Kondisi *running-in*

Fase *running-in* adalah fase sementara, terjadi ketika dua buah permukaan material masih baru (belum rusak) saling berkontak [2]. Menurut teorinya, fase *running-in* adalah fase dimana keausan terbesar terjadi, dan pada fase ini dimana putaran mesin belum konstan, sehingga kondisi permukaan yang ditimbulkan kasar akibat adanya gesekan antara dua permukaan yang bergerak secara relatif. Pada fase ini sering terjadi kegagalan pada komponen mesin yang dikenal dengan *infant mortality failure*.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan memperlihatkan bahwa volume keausan Gambar 6 dan laju keausan Gambar 7 pada 6 menit pertama sangat tinggi, hal ini sesuai dengan teori *running-in* yang telah dijelaskan di atas, sehingga fenomena *running-in* dapat diamati. Saat pertama kali dua permukaan berkontak (*pin* dan disk), terjadi kontak antara *asperity* dan *asperity*. Akibat adanya gerak relatif antara dua permukaan, maka permukaan yang keras akan mengerus permukaan yang lunak dalam hal ini puncak *asperity* dari disk akan tergerus. Pada 6 menit berikutnya puncak *asperity* dari disk sudah mulai berkurang sehingga volume keausan akan berkurang [2, 9, 10].

3.4.2. Pengaruh Pelumasan Terhadap *Running-in*

Pada penelitian ini jenis pelumas yang digunakan adalah minyak pelumas dari kelapa, diantaranya HCO, RCO dan VCO. Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa terjadi perbedaan nilai volume keausan, perbedaan tersebut tidak dipengaruhi oleh viskositas dari pelumas yang

digunakan. Perbandingan viskositas ketiga jenis minyak yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3. Pada Tabel 3 dapat dilihat nilai viskositas yang tertinggi adalah HCO, diikuti oleh VCO dan RCO. Seharusnya HCO mampu membentuk lapisan pelumas secara sempurna karena memiliki viskositas yang tinggi, dan lapisan *fluid film* yang terbentuk juga semakin tebal dibandingkan dengan RCO. Tetapi kenyataannya pada kondisi saling berkontak antara pin dan disk, penggunaan minyak RCO mampu melapisi dua permukaan yang berkontak sehingga dapat mengurangi laju keausan, hal ini disebabkan oleh daerah regime pelumasan yang terjadi tidak berada di daerah *elastohydrodynamic lubrication* tetapi berada di *mixed lubrication* [6] dimana viskositas tidak berperan dengan baik. Akan tetapi RCO memiliki VI [5] yang tinggi hal ini dapat dilihat viskositas pada suhu 100°C memiliki harga yang tinggi dibandingkan dengan minyak pelumas yang lain. VI yang tinggi akan membantu untuk menjaga nilai viskositas tidak berubah banyak ketika terjadi kontak yang akan mengakibatkan suhu meningkat.

Pada fase *running-in*, lapisan pelumas belum terbentuk secara sempurna diantara pin dan disk sehingga gesekan yang ditimbulkan menjadi sangat besar. Pada fase ini kekasaran permukaan juga masih tinggi, yang diakibatkan oleh keausan pada material yang bergesekan, hal ini akan terjadi sampai terbentuk kekasaran yang konstan. Kekasaran permukaan yang konstan menghasilkan koefisien gesek yang stabil. Pada kondisi *steady state* lapisan pelumas sudah terbentuk secara sempurna diantara pin dan disk, sehingga gesekan yang ditimbulkan menjadi berkurang.

3.4.3. Analisis Surface Texture Terhadap Running-in dan Pelumasan

Fase *running-in* terjadi antara 6 sampai 24 menit pertama, kondisi permukaan yang terbentuk diawal terjadinya keausan sangat kasar, kondisi ini akan terus terjadi hingga fase *running-in* berakhir. Pada fase ini kekasaran permukaan pada material masih tinggi sehingga koefisien geseknya sudah masih tinggi, sehingga pada menit ke 24 gaya gesek akan menurun hingga fase *steady state* di capai. Penurunan gaya gesek tersebut terjadi karena

permukaan material yang mengalami keausan dan permukaan akan semakin halus. Dengan adanya pelumasan yang memiliki viskositas yang tinggi seperti RCO, menyebabkan permukaan yang mengalami keausan akan halus dibandingkan dengan pelumas yang memiliki viskositas yang rendah. Lapisan yang tebal akibat viskositas yang tinggi dapat mengurangi kontak antara *asperity* dengan *asperity* sehingga permukaan disk yang tergerus semakin kecil, hal ini yang menyebabkan permukaan menjadi halus [2, 11].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Kondisi pada fase *running-in* dapat diamati, dimana pada fase ini terjadi laju keausan yang sangat tinggi, dimana laju keausan menurun secara eksponensial menuju nilai konstan dan hal sesuai dengan kurva umur pakai komponen mesin (kurva *bathtub*). Pada kondisi ini komponen mesin dapat mengalami kegagalan, dimana pada fase ini akan terjadi *infant mortality failure*.
2. Jenis pelumas dapat mempengaruhi laju keausan yang terjadi, dari hasil penelitian minyak RCO memberikan laju keausan yang rendah pada daerah *mixed lubrication regime*.
3. Tektur permukaan yang terbentuk juga dapat dipengaruhi oleh jenis pelumas, minyak RCO akan menghasilkan permukaan yang lebih halus jika dibandingkan dengan minyak VCO dan RCO.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. B. Kececioglu. *Reability Engineering Handbook, vol. 1*. Lancaster, Pennsylvania: DEStech Publication, 2002, pp. 1-42.
- [2] Jamari, *Running-in of Rolling Contacts*, PhD Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2006.
- [3] N. Supriatna, P. Londa, T. Hidayat, Jamari, S. Nugroho, "Kaji Eksperimental Running-in

- pada Kontak Rolling Sliding Pasangan Aluminium dengan Baja S45C,” *Rotasi*, vol. 14, no. 2, pp. 18-23, April, 2013.
- [4] S. Akbarzadeh, M. M. Khonsari, “Experimental and Theoretical Investigation of Running-in,” *Tribology Int.*, vol. 44, pp. 92-100, Feb., 2011
- [5] D. Gasni, I. H. Mlyadi, J. Affi, A. Y. Miswar, “Investigation Wear Mechanism in Ball Bearings Lubricated by a Bio-lubricant,” *IJTech.*, vol. 7, pp. 1248-1257, 2017.
- [6] D. Gasni, “Simulasi Koefesien Gesek Untuk Mixed Lubrication Model Pada Point Contact,” *J. TeknikA*, vol. 19, no. 2, pp. 28-42, Okt., 2012.
- [7] R. Kumar, B. Prakash, A. Sethuramiah, “A Systematic Methodology to Characterise the Running-in and Steady-state Wear Process,” *Wear*, vol. 252, pp. 445-453, 2002.
- [8] J. F. Archard, “Contact and Rubbing of Flat Surface,” *J. appl. Phys.*, Vol. 24, pp. 981-988, 1953.
- [9] D. N. Allsopp, R. I. Trezona, I. M. Hutchings, “The Effect of Ball Surface Condition in the Micro-scale Abrasive Wear Test,” *Tribol. Int.*, vol. 5, pp. 259-264, 1998.
- [10] A. K. Rai, H. K. Trivedi, R. S. Bhattacharya, C. J. Klenke, N. H. Forster, “An Approach to Evaluate the Abrasive Land Wear of High-Speed Bearings,” *Tribol. Lett.*, vol. 39, pp. 143-149, 2010.
- [11] J. Kogovsek, M. Remskar, A. Mrzel, M. Kalin, “Influence of Surface Roughness and Running-in on the Lubrication of Steel Surfaces with Oil Containing MoS₂ Nanotubes in all Lubrication Regimes,” *Tribol. Int.*, vol. 61, pp. 40-47, 2013.