

## Kajian Eksperimental Sifat Gesek dan Keausan Lapisan *Diamond Like Carbon (DLC)* dalam Lingkungan Biodiesel

Zahrul Fuadi<sup>a</sup>, Rian Satirzan<sup>a,\*</sup>, M. Tadjuddin<sup>a</sup>, Irwansyah<sup>a</sup> dan Husaini<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Syiah Kuala Banda Aceh

<sup>a</sup>Jl. Syech Abdurrauf No.7 Banda Aceh 23111, Indonesia

\*email: [riansatirzan.jtm@gmail.com](mailto:riansatirzan.jtm@gmail.com)

### Abstrak

*Diamond like carbon (DLC) coating* dikenal sebagai material pelapis/*coating* yang dapat menghasilkan gesekan dan keausan yang sangat rendah. Namun pada kasus tertentu dari penelitian terdahulu terindikasi bahwa sifat gesek dan keausan lapisan DLC kurang baik pada lingkungan bahan bakar minyak. Disisi lain, hadirnya *BioSolar* Pertamina yang merupakan produk campuran *Solar* dengan biodiesel *palm methyl ester* (PME) pada konsentrasi tertentu, menjadi suatu fenomena tersendiri di Indonesia. Penelitian ini mengkaji pengaruh konsentrasi PME dalam biodiesel terhadap sifat gesek dan keausan lapisan DLC. Pengukuran sifat gesek dilakukan dengan alat tribometer *ball-on-disk*. Sedangkan tingkat keausan didapat dari perhitungan berdasarkan gambar aus. Tiga jenis material spesimen bola digunakan, yaitu *amorphous carbon* (a-C), *hydrogenated amorphous carbon* (a-C:H), dan *stainless steel* SUS304. Spesimen cakram terbuat dari material SUS304. Lima varian biodiesel dengan konsentrasi PME berbeda-beda adalah 0%, 7,5%, 15%, dan 100%. Hasil pengujian menunjukkan koefisien gesek rata-rata kedua jenis DLC adalah 0,28 atau cenderung lebih rendah dari pada material tanpa pelapis. Selanjutnya, tingkat keausan yang didapat cukup bervariasi. DLC a-C:H menunjukkan tingkat keausan paling besar pada konsentrasi PME kisaran 0% hingga 15%. Sedangkan DLC a-C pada kisaran konsentrasi PME 30% dan 100% tingkat keausan paling besar ditunjukkan.

**Kata kunci :** *Diamond like carbon (DLC) coating*, *palm methyl ester* (PME), biodiesel, sifat gesek dan keausan

### 1. Latar belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, kehadiran teknologi pelapisan *diamond like carbon (DLC) coating* telah banyak menarik perhatian industri otomotif. Memiliki sifat tahan aus dan rendah gesekan yang baik adalah penyebabnya [1]. Namun pada kasus tertentu dari penelitian terdahulu terindikasi bahwa sifat sangat rendah gesekan dan keausan lapisan DLC hanya muncul pada lingkungan kering. Sedangkan pada lingkungan terlumasi, seperti pada lingkungan bahan bakar minyak (BBM), *base oil*, dan lingkungan dengan kelembaban tinggi, sifat sangat rendah gesekan dan keausan lapisan DLC menunjukkan hasil yang kurang baik [2,3,4].

Disisi lain, hadirnya *BioSolar* Pertamina sebagai produk yang disubsidi pemerintah peralihan dari produk *Solar* menjadi suatu fenomena tersendiri di Indonesia [5]. Artinya, komponen mesin yang dahulunya terlumasi dalam lingkungan *Solar* harus berganti dengan lingkungan *BioSolar* yang tidak lain adalah biodiesel.

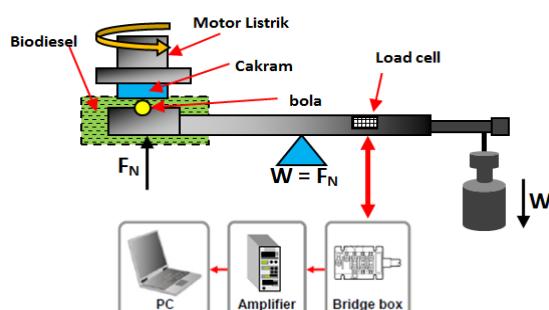
Oleh sebab itu, pengaruh hadirnya teknologi pelapisan DLC dan lingkungan komponen mesin

terlumasi biodiesel menjadi suatu hal yang menarik dan penting untuk dikaji.

### 2. Metode Pengujian

#### 2.1 Alat dan Prosedur Pengujian

Seluruh pengujian gesekan dan keausan dilakukan pada alat tribometer *ball-on-disk* (BOD). Skema alat tribometer BOD ditampilkan pada Gambar 1. Spesimen bola (*ball*) dan cakram (*disk*) digesek dalam lingkungan biodiesel. Waktu yang digunakan untuk setiap pengujian adalah 100 menit. Selama proses ini berlangsung, maka terjadi proses perekaman koefisien gesek. Sensor *Load cell* menerima dan mengubah gaya mekanik menjadi sinyal listrik. Sinyal listrik tersebut kemudian diperkuat oleh *amplifier* dan ditransfer ke PC melalui *data logger*. Data rekaman koefisien gesek ini selanjutnya diolah dan ditampilkan dalam bentuk kurva – kurva perbandingan.



Gambar 1. Skema alat tribometer *ball-on-disk*

Kemudian tahap selanjutnya adalah proses pengambilan foto gambar aus dan pemberian ukuran aus setiap spesimen. Proses ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik *inverted metallurgical microscope Olympus G71X*.

## 2.2 Perhitungan Keausan

Pada penelitian ini, keausan didefinisikan sebagai besarnya volume hilang pada material. Volume hilang ( $V_{hlg}$ ) dihitung dengan persamaan berikut [6]:

Pada spesimen bola,

$$V_{hlg} = (\pi h/6) [3d^2/4 + h^2] \quad (1)$$

Dimana tinggi hilang,  $h = r - [r^2 - d^2/4]^{1/2}$ , diameter goresan aus =  $d$ , dan radius bola =  $r$ .

Sedangkan Pada spesimen cakram,

$$V_{hlg} = 2\pi R[r^2 \sin^{-1}(d/2r) - (d/4)(4r^2 - d^2)^{1/2}] \quad (2)$$

Dimana  $R$  adalah radius goresan aus dan  $d$  adalah lebar goresan aus.

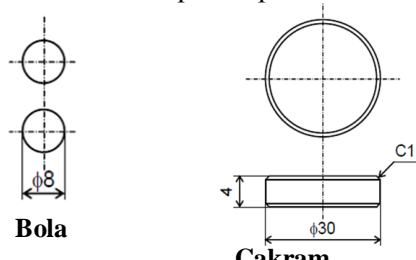
Tingkat keausan [ $\text{mm}^3/\text{Nm}$ ] dihitung dengan persamaan Archard [7]:

$$\frac{V}{S} = K \frac{F_N}{H} \quad (3)$$

Dimana  $F_N$  adalah tekanan gesek yang diberikan,  $H$  adalah kekerasan material,  $S$  adalah jarak gesekan,  $V$  adalah volume hilang, dan  $K$  adalah tingkat keausan.

## 2.3 Spesimen

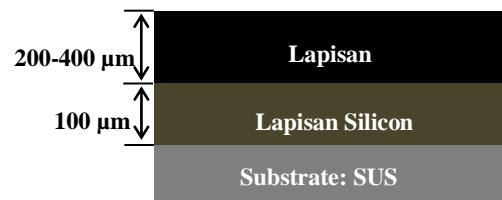
Jenis material spesimen bola secara umum terbagi dua kelompok, yaitu *stainless steel* SUS304 tanpa *coating* dan *stainless steel* SUS304 dengan *DLC coating*. Sedangkan pada spesimen cakram, seluruh spesimennya merupakan *stainless steel* SUS 304 tanpa *coating*. Dimensi spesimen bola dan cakram ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Dimensi spesimen bola dan cakram

### 2.2.1 DLC Coating

Dua jenis DLC yang digunakan pada penelitian ini adalah *amorphous carbon* (a-C) dan *hydrogenated amorphous carbon* (a-C:H). *Cross section* lapisan DLC ditampilkan pada Gambar 3. Ketebalan rata-rata lapisan DLC berkisar 200  $\mu\text{m}$  hingga 400  $\mu\text{m}$ . Lapisan *silicon* diberikan agar ikatan antara lapisan DLC dengan SUS304 menjadi lebih baik.



Gambar 3. *Cross section* lapisan DLC

### 2.2.2 Spesimen Tanpa Coating

Spesimen material tanpa *coating* yang digunakan pada penelitian ini adalah *stainless steel* SUS304.

## 2.4 Biodiesel

Pada pengujian ini digunakan lima varian biodiesel, yaitu 0%, 7,5%, 15%, 30%, dan 100%. Lima varian tersebut selanjutnya disebut dengan B0, B7,5, B15, B30, dan B100. B berarti biodiesel, sedangkan angka 0, 7,5, 15, 30, dan 100 berarti besar persentase konsentrasi PME dalam biodiesel.

## 2.5 Kondisi Pengujian

Rangkuman kondisi pengujian ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi pengujian

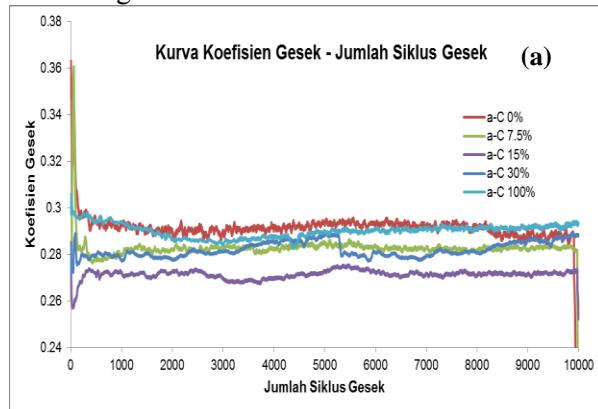
| Kondisi                                     | Nilai |
|---|-------|
| Putaran (rpm)                               | 100   |
| Jumlah putaran target (siklus)              | 10000 |
| Beban yang diberikan (N)                    | 15    |
| Temperatur biodiesel ( $^{\circ}\text{C}$ ) | 27    |
| Kelembaban udara relatif (%)                | 75    |
| Frequensi data sampel (Hz)                  | 5     |

## 3. Hasil dan Pembahasan

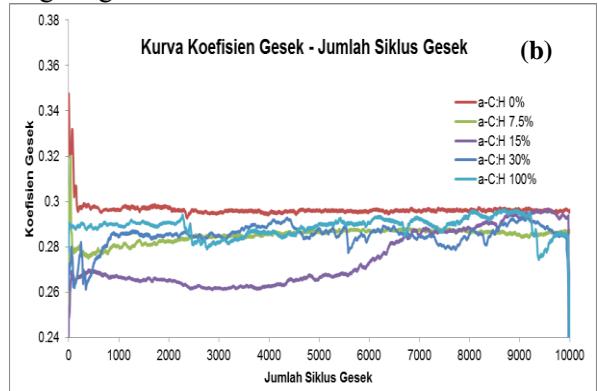
### 3.1 Pengaruh jumlah putaran terhadap koefisien Gesek

Data koefisien gesek sebagai fungsi dari jumlah putaran gesek telah dievaluasi untuk ketiga kelompok pengujian (Gambar 4). (a) Kelompok I (a-C vs SUS304), (b) Kelompok II (a-C:H vs SUS304), dan (c) Kelompok III (SUS304 vs SUS304) dalam lingkungan lima varian biodiesel dengan konsentrasi PME yang berbeda-beda. Secara umum terlihat bahwa koefisien gesek

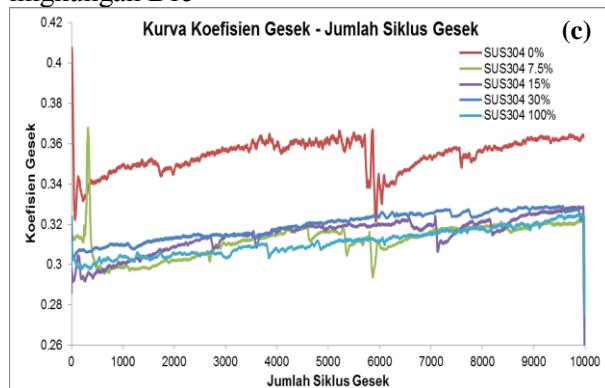
diawali sangat tinggi, namun setelah melewati 1000 siklus hingga berakhir di 10000 siklus cenderung stabil.



Keterangan: a-C 30% = DLC a-C dalam lingkungan B30



Keterangan: a-C:H 15% = DLC a-C:H dalam lingkungan B15



Keterangan: SUS304 0% = SUS304 dalam lingkungan B0

Gambar 4. Kurva pengaruh jumlah siklus terhadap koefisien gesek. (a) Kelompok I, (b) Kelompok II, dan (c) Kelompok III.

Akan tetapi, pada pengujian kelompok I, lapisan DLC a-C dalam lingkungan B30 saat melewati ±5000 siklus mengalami penurunan koefisien gesek. Kemudian pada kelompok II, lapisan DLC a-C:H dalam lingkungan B15, B30 dan B100 menunjukkan ketidakstabilan. Ketidakstabilan ini juga terjadi pada kelompok III,

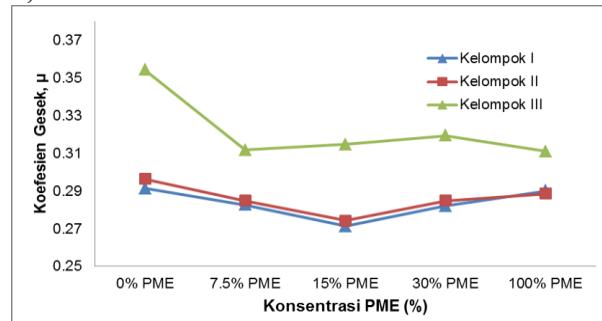
yaitu pada SUS304 dalam lingkungan B0, B7.5, dan B15. Hal tersebut terjadi diduga akibat berubahnya profil permukaan spesimen seiring bertambahnya siklus gesek. Berubahnya profil aus dapat berarti berubahnya sudut gesek antar permukaan spesimen. Salah Mezlini *et al.* [8] mengungkapkan bahwa, perubahan sudut gesek berperan penting terhadap perubahan koefisien gesek

### 3.2 Pengaruh konsentrasi PME

#### 3.2.1 Terhadap koefisien gesek

Kurva perbandingan pengaruh konsentrasi PME terhadap koefisien gesek setiap kelom-pok pengujian ditampilkan pada Gambar 5. Berdasarkan gambar tersebut, tampak konsentrasi PME sangat berpengaruh terhadap nilai koefisien gesek. Pada kelompok pengujian I dan II (spesimen dengan lapisan DLC) terlihat bahwa penurunan koefisien gesek terjadi pada biodiesel B7.5 dan B15, sedangkan kenaikan terjadi pada B30 dan B100. Tidak terlalu berbeda dengan kelom-pok I dan II, kelompok III menunjukkan penurunan koefisien gesek seiring meningkatnya konsentrasi PME dalam biodiesel. Hanya saja lingkungan B100 menunjukkan koefisien terendah dan B7.5 menunjukkan koefisien lebih rendah dibandingkan B15 dan B30.

Koefisien gesek tertinggi terjadi pengujian kelompok III, yaitu 0,35. Sedangkan koefisien terendah terjadi pada lapisan kelompok I, yaitu 0,283.



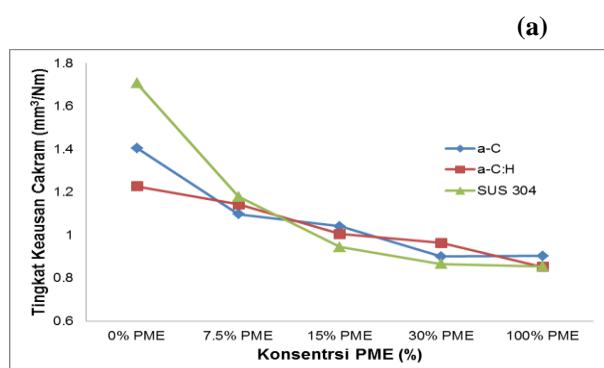
Gambar 5. Kurva pengaruh konsentrasi PME terhadap koefisien

Spesimen bola yang dilapisi lapisan DLC menghasilkan koefisien gesek rata-rata 0,28 atau cenderung lebih rendah dibandingkan dengan spesimen bola yang tidak dilapisi DLC. Spesimen bola yang dilapisi DLC a-C menghasilkan koefisien gesek terendah. Walaupun demikian, secara umum koefisien gesek spesimen yang dilapisi lapisan DLC menghasilkan selisih nilai koefisien gesek yang tidak begitu besar. Artinya pada kasus ini, sifat sangat rendah gesekan lapisan DLC tidak teramat dalam lingkungan biodiesel.

### 3.2.2 Terhadap keausan

Kurva tingkat keausan ditampilkan pada Gambar 7. Berdasarkan gambar tersebut tam-pak bahwa, semakin tinggi konsentrasi PME dalam biodiesel, maka semakin rendah tingkat keausan yang dialami material. Tingkat keausan tertinggi spesimen bola terjadi pada DLC a-C:H dalam lingkungan B0, yaitu  $3,01 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Sedangkan tingkat keausan terendah juga terjadi pada lapisan DLC a-C:H, yaitu  $4,44 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ .

Namun secara umum terlihat bahwa tingkat keausan yang dihasilkan baik pada spesimen bola ataupun spesimen cakram tidak jauh berbeda satu sama lain. Dalam kasus ini, sifat sangat aus lapisan DLC tidak muncul bahkan menunjukkan sifat tahan aus yang sedikit lebih buruk daripada spesimen tanpa DLC *coating*.



Gambar 7. Kurva pengaruh konsentrasi PME terhadap tingkat keausan, (a) spesimen bola, (b) spesimen cakram.

### 3.2.3 Pembahasan

Didasarkan pada hasil pengujian, sifat sangat rendah gesek dan keausan lapisan DLC dalam lingkungan biodiesel tidak teramat. Diasumsikan hal tersebut terjadi sebagaimana yang terjadi pada kasus tertentu pada penelitian terdahulu [2,3,4].

Hongxuan Li *et al.* [3] pada penelitiannya tentang efek *tribochemical* yang terjadi pada lapisan DLC a-C dan a-C:H menyebutkan bahwa kehadiran molekul air, oksigen, dan nitrogen dalam lingkungan gesek sangat mempengaruhi sifat gesek dan keausan DLC. Proses kimia seperti oksidasi dan sebagainya sangat mungkin terjadi dan efek *tribochemical* bisa saja menjadi penyebab sifat sangat rendah gesek dan keausan lapisan DLC tidak teramat dalam lingkungan biodiesel.

Kemudian terkait penjelasan tentang pengaruh konsentrasi PME terhadap penurunan koefisien gesek dan keausan, M.A Fazal *et al.* [9] mengungkapkan bahwa penurunan koefisien gesek dan keausan yang terjadi seiring meningkatnya konsentrasi PME dalam biodiesel dapat disebabkan oleh hadirnya *oxygenated*

*moieties*, tingkat ketidak-jenuhan molekul (*degree of unsaturated molecules*), *free fatty acid components*, dsb. yang terkandung dalam biodiesel.

## 4. Kesimpulan

Sifat gesek dan keausan lapisan DLC dalam lingkungan biodiesel telah dievaluasi. Hasil menunjukkan bahwa koefisien gesek rata-rata kedua jenis DLC adalah 0,28 atau cenderung lebih rendah dari pada material tanpa pelapis. Koefisien gesek tertinggi terjadi pada pengujian kelompok III, 0,35. Sedangkan koefisien terendah terjadi pada pengujian kelompok I, yaitu 0,283.

Tingkat keausan yang didapatkan cukup bervariasi. DLC a-C:H menunjukkan tingkat keausan paling besar pada konsentrasi PME kisaran 0% hingga 15%. Sedangkan pada kisaran konsentrasi PME 30% dan 100% DLC a-C yang menunjukkan tingkat keausan paling besar. Tingkat keausan tertinggi spesimen bola terjadi pada DLC a-C:H dalam lingkungan B0, yaitu  $3,01 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Sedangkan tingkat keausan terendah juga terjadi pada lapisan DLC a-C:H, yaitu  $4,44 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ .

Ketidakstabilan koefisien gesek seiring bertambahnya jumlah siklus gesek diasumsikan terjadi akibat telah berubahnya profil permukaan spesimen yang mengalami aus.

Sifat sangat rendah gesekan dan keausan lapisan DLC saat berada dalam lingkungan biodiesel tidak teramat. Akan tetapi secara umum, terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi PME dalam biodiesel, maka semakin baik sifat gesek dan keausan material tersebut.

## Penghargaan

Penelitian ini didanai melalui skim penelitian kerjasama luar negeri dan publikasi internasional DIKTI tahun anggaran 2014 No: 497.A/UN11/S/LK-BOPT/2014 bersama dengan skim hibah penelitian dari Taiho Tribology Research Foundation.

## Referensi

- [1] Klaus Bewilogua, Dieter Hofmann, History of diamond-like carbon films-From first experiments to worldwide applications, *Surface & Coatings Technology* 242 (2014) 214–225.
- [2] J. Hershberger, O. Ozturk1, O.O. Ajayi, J.B. Woodford, A. Erdemir, R.A. Erck, G.R. Fenske, Evaluation of DLC coatings for spark-ignited, direct-injected fuel systems. *Surface and Coatings Technology* 179 (2004) 237–244.
- [3] Hongxuan Li, Tao Xub, Chengbing Wang, Jianmin Chen, Huidi Zhou, Huiwen Liu, Tribochemical effects on the friction and wear

behaviors of a-C:H and a-C films in different environment. *Tribology International* 40 (2007) 132–138

[4] B. Vengudusamy, A. Grafl, K. Preinfalk, Tribological properties of hydrogenated amorphous carbon under dry and lubricated conditions,. *Diamond & Related Materials* 41 (2014) 53–64.

[5] Pertamina, Kesiapan Pertamina dalam Mendukung Implementasi Peraturan Menteri ESDM No. 32/2008 beserta Tantangan yang Dihadapi. *Bioenergy Discussion* Jakarta Convention Center, 2013.

[6] ASTM G 99–95a, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. Reapproved 2000.

[7] Gwidon W. Stachowiak, Andrew W. Batchelor, *Engineering Tribology* 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Australia.

[8] Salah Mezlini, M. Zidi, H. Arfa, Mohamed Ben Tkaya, Philippe Kapsa, Experimental, numerical and analytical studies of abrasive wear: correlation between wear mechanisms and friction coefficient. *C. R. Mecanique* 333 (2005) 830–837.

[9] M.A. Fazal, A.S.M.A. Haseeb, H.H. Masjuki, Investigation of friction and wear characteristics of palm biodiesel. *Energy Conversion and Management* 67 (2013) 251–256.

[10] Neha Sharma, N. Kumar, S. Dash, C. R. Das, R. V. Subba Rao, A.K. Tyagi, Baldev Raj, Scratch resistance and tribological properties of DLC coatings under dry and lubrication. *Tribology International* 56 (2012) 129–140.