

Analysis of Stainless Steel Wear Rate in the Environment of Methyl Ester Palm Oil

Zahrul Fuadi^{1,*}, Koshi Adachi², Takanori Takeno², Muhammad Tadjuddin¹ dan Mohd. Iqbal¹

¹Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Syiah Kuala - Banda Aceh, Indonesia

²Division of Mechanical Engineering, Tohoku University - Sendai, Jepang

*Korespondensi: zahrul.fuadi@unsyiah.ac.id

Abstract. Methyl ester is one of palm oil reduction that is used as biofuel. As it now methyl ester is used as hybrid fuel for diesel engine. Usage of methyl ester have some implication to friction and wear of fuel system component because operating condition of those components cant be lubricate by lubricants but are lubricate by fuel it use. In some past research it is found that methyl ester have positive effect which is reducing wear on metal component. In the paper, friction test is using pin on disk apparatus to observer wear rate on stainless stell SUS under methyl ester environment. Testing result showed that wear rate of material under methyl ester environment is not constant but change over time. Where wear rate is decreased the longer it is under the environment. This contradicting with wear rate of material under diesel petro environment where the wear rate is constant or increased with time. The result showed that methyl ester have active substance that protect metallic component, especially stainless steel SUS, against wear. The testing result also showed that methyl ester is alternative fuel of diesel that have many superiority and its renewable.

Abstrak. *Methyl ester* sawit merupakan salah satu bahan turunan minyak sawit mentah yang dipakai sebagai bahan bakar minyak nabati (*biofuel*). Saat ini, *methyl ester* sawit digunakan sebagai campuran bahan bakar mesin diesel. Pemakaian *methyl ester* sawit memiliki beberapa implikasi terhadap gesekan dan keausan komponen sistem bahan bakar karena komponen tersebut dalam kondisi operasinya tidak dapat dilumasi oleh bahan pelumas khusus tetapi langsung dilumasi oleh bahan bakar yang digunakan. Pada beberapa penelitian sebelumnya telah ditemukan bahwa *methyl ester* sawit memiliki pengaruh yang positif yaitu mengurangi keausan bahan logam. Dalam makalah, suatu pengujian gesekan menggunakan alat uji *pin-on-disk* dilakukan untuk melihat laju perkembangan aus bahan logam stainless stell SUS dalam lingkungan pelumasan *methyl ester* sawit. Hasil uji menunjukkan bahwa laju aus bahan dalam lingkungan *methyl ester* sawit tidak konstan tetapi berubah terhadap waktu, dimana semakin lama laju aus semakin kecil. Hal ini berbeda dengan laju keausan bahan logam dalam lingkungan minyak petro diesel dimana laju aus nya konstan atau bertambah terhadap waktu. Hasil ini menunjukkan bahwa *methyl ester* sawit memiliki bahan aktif yang dapat melindungi komponen bahan logam, khususnya stainless steel SUS, terhadap keausan. Hasil uji sekaligus juga menunjukkan bahwa *methyl ester* sawit adalah bahan bakar pengganti minyak diesel yang memiliki berbagai keunggulan disamping sifatnya yang terbarukan.

Kata kunci: methyl ester sawit, stainless steel, laju aus, gesekan

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Pemakaian bahan bakar yang bersumber dari bahan nabati saat ini semakin meningkat. Pada tahun 2016, total pemakaian bahan bakar minyak nabati dunia mencapai 82.3 juta ton [1]. Sebagian besar dari bahan bakar nabati tersebut adalah biodiesel. Indonesia memiliki peran penting dalam produksi biodiesel dunia karena memiliki sumber minyak sawit yang amat besar.

Biodiesel sawit saat ini, khususnya di kawasan Eropa, digunakan sebagai pengganti bahan bakar minyak diesel mineral. Sedangkan di Indonesia, biodiesel sawit dipakai sebagai campuran minyak

diesel mineral. Dari peningkatan jumlah produksi dunia saat ini, dapat disimpulkan bahwa biodiesel, khususnya yang berasal dari minyak sawit, akan menjadi salah satu bahan bakar terbarukan yang amat penting dalam waktu dekat, khususnya dalam masa transisi dari bahan bakar minyak ke listrik.

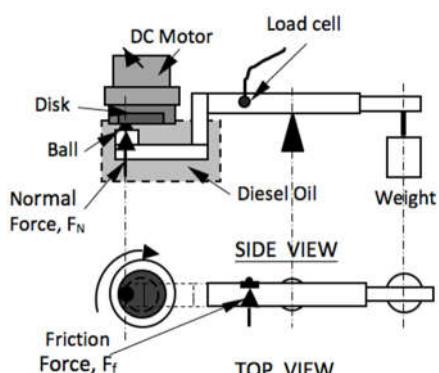
Pemakaian minyak diesel dari sumber terbarukan pada industri memiliki beberapa implikasi, khususnya terhadap performa mekanis dari mesin. Beberapa komponen yang bersinggungan langsung dengan bahan ini antara lain adalah pompa bahan bakar, jarum injeksi, katup, dan *ring* piston. Komponen ini dalam kondisi operasinya tidak dapat menerima bahan pelumas khusus. Oleh karena itu,

sifat pelumasan dari bahan bakar sendiri memiliki peran yang penting dalam melumasi komponen-komponen tersebut. Sehingga performa pelumasan dari bahan bakar menentukan performa kinerja komponen mesin. Gesekan dan keausan yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya presisi suplai bahan bakar yang pada akhirnya akan menyebabkan turunnya performa mesin.

Dari penelusuran literatur, diketahui bahwa methyl ester sawit memiliki sifat pelumasan yang baik. 5% campuran methyl ester sawit ke dalam bahan pelumas dapat mengurangi keausan material logam *cast iron* [2]. Selain daripada itu, uji gesekan menggunakan bahan logam *stainless steel* menunjukkan bahwa minyak diesel biasa yang dicampurkan 7.5% methyl ester sawit dapat menurunkan keausan bahan logam hingga 14% [3]. PME murni sebagai pengganti bahan bakar solar mineral juga dapat mengurangi emisi buang CO dan *hydrocarbon* [4].

Pada pengujian sebelumnya, diperoleh hasil bahwa laju keausan material *stainless steel* SUS sangat kecil dalam lingkungan pelumasan methyl ester sawit. Makalah ini membahas laju keausan bahan logam stainless steel dalam lingkungan pelumasan methyl ester sawit. Laju keausan diperoleh melalui pengujian menggunakan alat uji gesek tribometer *ball on disk*.

Metode Penelitian

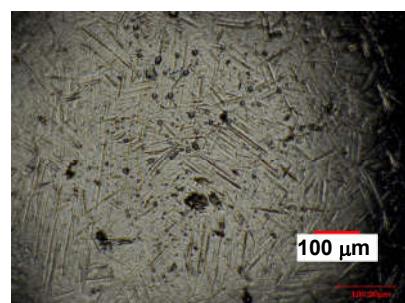


Gambar 1. Setup uji gesek *ball-on disk*

Tabel 1. Kondisi pengujian

Parameter	Nilai
Beban running-in (Tahap 1)	5 N
Beban normal (Tahap 2)	12 N
Putaran	100 rpm
Suhu	20 C
Fluida pelumasan	methyl ester sawit, petro diesel
Material <i>ball</i>	SS 304
Material <i>disk</i>	SS 304

Dalam penelitian ini, alat uji gesekan yang digunakan adalah tribometer *ball on disk*. Prinsip kerja alat uji gesekan ini secara skematis ditunjukkan pada gambar 1. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah stainless steel SS304, yang terdiri dari *ball* dan *disk*. Pada pengujian, permukaan gesek dilumasi dengan menggunakan methyl ester sawit dan minyak diesel biasa sebagai pembanding. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan 20°C. Benda uji *ball* memiliki diameter 8 mm sedangkan benda uji *disk* memiliki diameter 30 mm dengan ketebalan 4 mm (gambar 2). Benda uji *ball* dan *disk* sudah dalam keadaan ter-polish dengan kekasaran permukaan rata-rata (R_a) 0.03 μm . Parameter pengujian lainnya diberikan pada tabel 1.



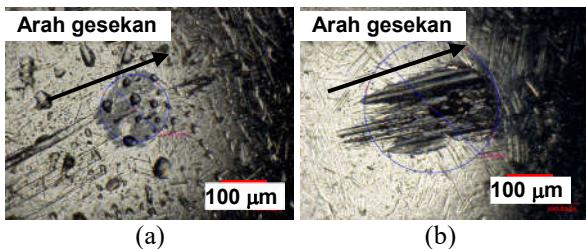
Gambar 2. Permukaan *ball* sebelum uji gesekan

Pengujian gesekan dilakukan dalam dua tahapan pembebanan. Pada tahapan pertama, beban yang digunakan adalah 5 N. Tahapan ini dilakukan untuk memberikan suatu permukaan yang relatif rata sehingga dapat mengurangi tekanan permukaan pada tahap pembebanan selanjutnya, yaitu 12 N. Pembebanan tahap pertama ini dinamakan *running-in*. Tahap ini dilakukan selama 50 putaran. Proses *running-in* pada penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mengurangi tekanan permukaan yang terjadi akibat kondisi *point contact*. Tekanan permukaan (Hertzian) yang terjadi pada kondisi *point contact* dengan diameter *sphere* 8 mm dan gaya normal 12 N adalah sekitar 1.2 GPa. Dengan mengurangi gaya normal menjadi hanya 5 N pada tahap *running in*, tekanan permukaan dapat berkurang menjadi sekitar 0.9 GPa.

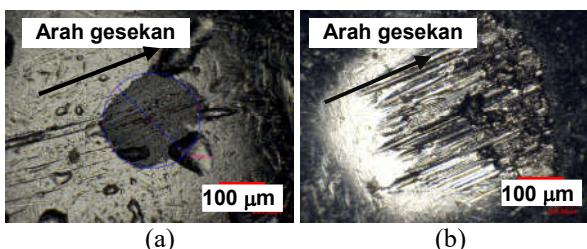
Hasil dan Pembahasan

Gambar 3(a) menunjukkan kondisi aus pada pelumasan menggunakan methyl ester sawit. Pada gambar tersebut dapat diamati bahwa keausan yang terjadi adalah relatif kecil dengan diameter aus sekitar 120 μm . Kekasaran permukaan aus juga relatif sama dengan kekasaran awal sebelum gesekan (dapat dibandingkan dengan bagian *ball* yang tidak bergesek). Sebaliknya, keausan yang relatif besar terjadi pada kondisi pelumasan menggunakan fluida petro diesel biasa, seperti ditunjukkan pada Gambar

3(b). Bagian permukaan yang tergerus dapat dilihat dengan jelas dengan kekasaran permukaan yang jelas berbeda dengan permukaan awal. Diameter aus yang terjadi mencapai $310 \mu\text{m}$.



Gambar 3. Kondisi permukaan aus setelah *running-in* pada kondisi pelumasan methyl ester sawit (a) dan minyak petro diesel (b)



Gambar 4. Kondisi permukaan aus setelah pengujian tahap 2 pada kondisi pelumasan methyl ester sawit (a) dan petro diesel (b)

Gambar 4 menunjukkan hasil dari pengujian tahap kedua. Disini terlihat bahwa luas permukaan aus yang terjadi semakin besar. Untuk kondisi pelumasan methyl ester sawit, diameter aus menjadi $220 \mu\text{m}$, bertambah sekitar dua kali lipat dari diameter aus pada saat akhir pengujian tahap pertama. Sedangkan untuk kondisi pelumasan dengan menggunakan minyak petro diesel, diameter aus bertambah besar menjadi lebih dari $700 \mu\text{m}$. Gambar 4(a) menunjukkan bahwa permukaan aus pada kondisi pelumasan methyl ester sawit tidak terlalu berbeda dengan permukaan yang tidak bergesek. Karakteristik aus demikian menandakan bahwa permukaan mengalami proses aus yang dapat digolongkan ringan (*mild wear*). Permukaan aus juga memperlihatkan alur aus yang relative kecil. Terlihat adanya suatu lapisan *tribofilm* pada permukaan gesek, meskipun hal ini masih perlu dianalisa secara lebih lanjut.

Sebaliknya, pada gambar 4(b) terlihat permukaan aus yang kasar dengan alur aus yang jelas dan dalam. Jelas teramat dalam hal ini bahwa jenis aus yang terjadi dapat digolongkan dalam keadaan aus berat (*severe wear*). Terlihat adanya perpindahan material dari arah awal gesekan dimana material yang dipindahkan bertumpuk di daerah ujung gesekan.

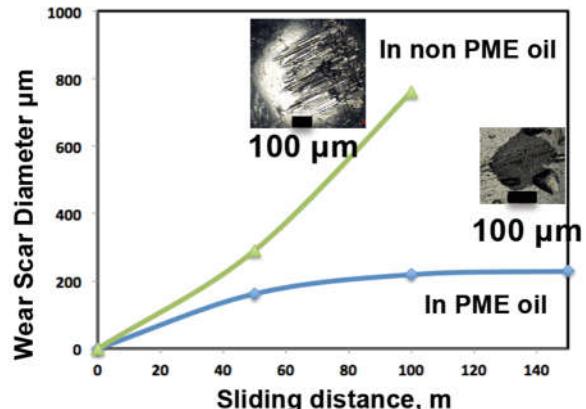
Laju keausan, K , [5] dapat dihitung dengan Persamaan 1 dimana V adalah volume aus *ball*,

mm^3 , F adalah beban normal, Newton, dan s adalah jarak tempuh gesekan, m. Volume aus *ball* dapat dihitung dengan Persamaan 2 dimana h adalah tinggi material yang tergerus yang dapat dihitung dengan Persamaan 3. d adalah diameter permukaan aus dan r adalah radius ball.

$$V = K \cdot F \cdot s \quad (1)$$

$$\text{Volume aus} = (\pi h/6)[3d^2/4 + h^2] \quad (2)$$

$$h = r - [r^2 - d^2/4]^{1/2} \quad (3)$$

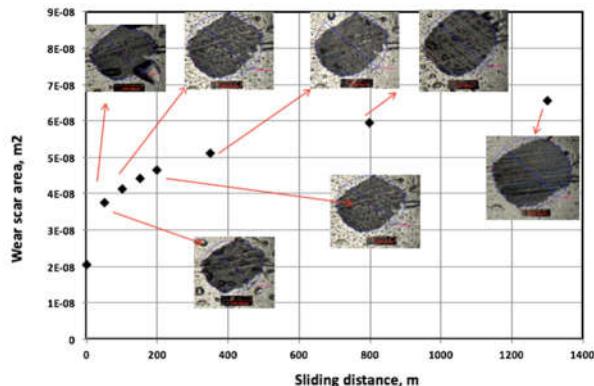


Gambar 5. Perkembangan lebar diameter aus pada permukaan *ball* terhadap jarak tempuh gesekan pada kondisi pelumasan methyl ester sawit (a) dan minyak diesel biasa (b)

Oleh karena beban yang digunakan pada tahapan pertama (*running-in*) dan tahap kedua berbeda, laju keausan yang dapat dibandingkan adalah rerata pada setiap kondisi sampai dengan jarak tempuh gesek sejauh 100 m. Setelah jarak 100 m, pengujian untuk kondisi pelumasan minyak petro diesel tidak dilanjutkan disebabkan pertumbuhan diameter aus yang sangat cepat (gambar 5). Pada gambar tersebut dapat diamati bahwa pertumbuhan diameter aus sampai dengan jarak 100 m telah mencapai hamper $800 \mu\text{m}$. Sehingga bias dipastikan bahwa kondisi tersebut sangat merugikan dari segi performa tribology. Dengan demikian, laju keausan *ball* untuk kondisi pelumasan petro diesel adalah $9.9 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{N.m}$. Sedangkan untuk kondisi pelumasan methyl ester sawit, laju keausan adalah $4.8 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{N.m}$. Laju keausan *ball* pada kondisi pelumasan methyl ester jauh lebih kecil daripada laju keausannya pada kondisi pelumasan minyak petro diesel. Oleh karena itu, kondisi pembebanan yang tinggi harus dihindari pada sistem bahan bakar mesin diesel apabila material komponen yang digunakan adalah stainless steel, khususnya SS 304. Sedangkan apabila menggunakan methyl ester sawit, kondisi pembebanan yang relative tinggi masih dapat digunakan, seperti yang ditunjukkan pada hasil penelitian ini.

Dari hasil pengujian seperti ditunjukkan pada gambar 5, diketahui bahwa laju keausan material

yang terjadi pada kondisi pelumasan minyak petro diesel sangatlah tinggi. Dengan demikian, pengujian untuk kondisi ini tidak dilanjutkan lagi. Sementara itu, laju keausan material pada kondisi pelumasan menggunakan methyl ester sawit sangat kecil sehingga dianggap perlu untuk melakukan pengujian lebih lama untuk melihat laju keausan bahan. Pengujian dilakukan pada kondisi pengujian normal seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Untuk mengukur pertumbuhan diameter aus, pengujian dihentikan pada putaran tertentu. Selama proses pengukuran, specimen *ball* tetap berada pada dudukannya sehingga saat pengujian dilanjutkan, posisi kontak permukaan tetap berada pada titik yang sama. Sedangkan specimen *disk* tetap berada pada tempatnya. Keausan pada permukaan spesimen *disk* tidak diperhitungkan karena posisi kontak permukaan pada spesimen *disk* berada pada jalur melingkar. Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Perkembangan lebar diameter aus pada permukaan *ball* terhadap jarak tempuh gesekan pada kondisi pelumasan methyl ester sawit

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa pada kondisi awal, luas diameter tidak nol karena telah melalui tahapan *running-in*. Pada gambar tersebut, titik-titik belah ketupat menunjukkan luas daerah aus yang diperoleh setelah melalui jumlah putaran tertentu. Dari hasil terlihat bahwa pertambahan luas aus bertambah dengan cepat pada 50 meter pertama. Selanjutnya, pertambahan luas aus melambat sampai dengan jarak 200 meter. Lebih lanjut, sampai dengan jarak 1300 meter, laju pertambahan diameter aus menjadi semakin melambat. Diameter aus pada jarak putaran 1300 meter adalah $6.6 \times 10^{-8} m^2$. Diameter aus hanya bertambah sebesar 10% dibandingkan pada jarak putaran 800 meter, yaitu $6 \times 10^{-8} m^2$. Dengan demikian, laju keausan pada jarak putaran 800 sd 1300 meter adalah $1.94 \times 10^{-29} m^2/N.m$. Bila melihat trend yang terjadi, laju keausan ini akan berlanjut bila gesekan dilanjutkan pada untuk jarak gesekan lebih jauh. Walaupun demikian, diperlukan uji gesekan lebih lanjut untuk mengetahui hal ini.

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa laju keausan material stainless pada kondisi *boundary lubrication* dalam lingkungan pelumasan methyl ester sawit adalah jauh lebih kecil dibandingkan dalam lingkungan pelumasan minyak petro diesel. Hal ini menunjukkan bahwa methyl ester sawit memiliki sifat pelumasan yang sangat baik dan dapat melindungi bahan dari keausan yang berlebihan.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Kemenristekdikti melalui skim Penelitian Kerjasama Luar Negeri tahun 2016 Nomor: 025/SP2H/LT/DPRM/II/2016.

Referensi

- [1] BP Statistical review of world energi, June 2017. <http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>. Accessed on Aug 5, 2017.
- [2] HH Masjuki, M A Maleque, Investigation of the Anti Wear Characteristics of Palm Oil Methyl Ester using a Four-ball Tribometer Test. Wear, 206, pp. 179-186.
- [3] T Muhammad, Z Fuadi, K Fazmi, H Husaini. Wear characteristic of stainless steel 304 sliding against Cast Iron under lubrication environment of palm biodiesel fuel. Applied Mechanics and Materials 758, 2015, pp. 107-111
- [4] EO Aluyor, KO Obahiagbon, M Ori-jesu. Biodegradation of Vegetable Oils: A Review. Scientific Research Essay 4 (6), 2009, pp 543-548.
- [5] Archard (1953) EO Aluyor, KO Obahiagbon, M Ori-jesu. Biodegradation of Vegetable Oils: A Review. Scientific Research Essay 4 (6), 2009, pp 543-548.