

Analisis Korosi Logam Tembaga dan Aluminium pada Biodiesel yang Disintesis dari Minyak Goreng Bekas

Adhi Setiawan, Nora Amelia Novitrie, Lukman Ashari
Jurusan Teknik Permesinan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS)
Surabaya, Indonesia
e-mail:adhstw23@gmail.com

Abstract— Biodiesel adalah salah satu bahan bakar alternatif yang dapat dipertimbangkan untuk mengatasi masalah krisis energi di masa mendatang. Penggunaan biodiesel berpotensi menimbulkan korosi pada logam terutama aluminium dan tembaga. Hal ini disebabkan biodiesel bersifat higroskopis serta mudah teroksidasi menghasilkan asam lemak bebas yang berpotensi menimbulkan korosi. Pada penelitian ini bertujuan untuk mensintesis biodiesel dari minyak goreng bekas serta menganalisis korosivitasnya terhadap logam aluminium dan tembaga. Pengujian komposisi FAME dari biodiesel dilakukan dengan menggunakan metode GC-MS sedangkan pengujian korosi dilakukan dengan metode immersi berdasarkan ASTM G-31 pada suhu biodiesel 30 °C dan 70 °C selama 40 hari. Hasil uji GC-MS menunjukkan bahwa kadar FAME dari biodiesel sebesar 98,41% dengan komposisi terbesar berupa asam oleat sebesar 45,54%. Uji immersi menunjukkan bahwa laju korosi logam aluminium dan tembaga pada biodiesel dengan suhu 30 °C lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 70 °C yaitu masing-masing sebesar 0,1217 mmy dan 0,043 mmy. Uji SEM menunjukkan bahwa pada suhu yang rendah korosi pada Al dan Cu terjadi secara signifikan dengan ditandai terbentuknya pit. Kandungan air dan densitas dari biodiesel meningkat selama penyimpanan terutama pada suhu 30 °C bila dibandingkan dengan kondisi sebelum mengalami uji immersi

Keywords— Biodiesel minyak goreng bekas; Korosi; FAME; Aluminium; Tembaga; uji immersi

I. PENDAHULUAN

Kelangkaan bahan bakar fosil menjadi perhatian utama terhadap perubahan kebijakan energi hampir di seluruh dunia. Berbagai usaha telah dilakukan untuk menemukan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil di masa depan. Biodiesel dipertimbangkan sebagai salah satu bahan bakar alternatif yang dapat menyelesaikan masalah krisis energi tersebut karena dapat menggantikan bahan fosil terutama sebagai pengganti solar konvensional. Penggunaan biodiesel memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan solar dan pada saat ini telah digunakan cukup luas di beberapa negara. Biodiesel memiliki beberapa kelebihan diantaranya hasil pembakaran yang bersih, aman, serta dapat diperbaharui [1].

Biodiesel terbentuk dari reaksi minyak tumbuhan, lemak hewan, dan methanol atau etanol dengan katalis. Secara kimia, biodiesel merupakan campuran dari eter atau metil ester dengan asam lemak rantai panjang [2]. Perbedaan bahan baku pada pembuatan biodiesel akan menghasilkan biodiesel dengan sifat yang bervariasi. Biodiesel terdiri dari asam lemak baik dalam bentuk asam lemak jenuh serta asam lemak tak jenuh.

Asam lemak tersebut cenderung bersifat kurang stabil, sensitif terhadap cahaya, suhu, serta ion logam [3].

Biodiesel memiliki komposisi yang berbeda dibandingkan dengan bahan bakar solar. Secara umum biodiesel memiliki kandungan asam lemak tak jenuh yang relatif tinggi sehingga mudah teroksidasi [4]. Saat ini hanya solar atau biodiesel campuran dengan konsentrasi rendah yang sedang digunakan di dalam mesin diesel akibat masih ada kekhawatiran yang meliputi ketidakcocokan material mesin diesel saat ini dengan biodiesel. Biodiesel lebih rentan terhadap oksidasi serta lebih korosif dibandingkan dengan solar kecuali dilakukan modifikasi atau penambahan aditif [5],[6].

Proses degradasi akibat oksidasi menyebabkan biodiesel bersifat korosif [7]. Sifat biodiesel yang higroskopis menyebabkan biodiesel lebih rentan terhadap oksidasi. Oksidasi biodiesel mengarah pada terbentuknya senyawa peroksida dan hiperoksida. Selama proses degradasi senyawa tersebut terkonversi membentuk aldehid, keton, dan asam yang bersifat volatile dengan rantai pendek [8]. Selain itu dalam proses tersebut terbentuk spesies dengan berat molekul yang tinggi melalui polimerisasi oksidasi. Mekanisme oksidasi biodiesel dapat meningkatkan sifat korosif serta mengubah sifat biodiesel. Sifat korosif dari biodiesel dapat disebabkan oleh kandungan pengotor seperti air, alkohol, asam lemak bebas, gliserol, dan *excess* katalis selama proses pemurnian produk [9].

Dibandingkan dengan solar, biodiesel lebih higroskopis karena mudah menyerap kelembaban dan air sehingga membentuk embun pada permukaan logam yang mengarah pada korosi. Selain itu, kehadiran ion logam yang disebabkan oleh korosi dapat mengkatalisis reaksi lain yang tidak diinginkan sehingga menyebabkan ketidakstabilan dan degradasi biodiesel. Beberapa faktor lain seperti suhu tinggi, kontak dengan udara dapat mempengaruhi kualitas biodiesel sehingga dalam pemakaiannya berpotensi mengurangi daya tahan mesin [10].

Korosi adalah salah satu isu yang relevan dengan masalah perbandingan kompatibilitas biodiesel dengan berbagai jenis logam. Komposisi biodiesel mempengaruhi ketahanan korosi logam pada sirkuit bahan bakar. Biodiesel menjadi lebih korosif dengan kehadiran air dan asam lemak bebas. Korosifitas biodiesel dipengaruhi oleh bahan baku terutama derajat ketidakjenuhannya yang mengarah pada proses

degradasi dan pembentukan produk dengan tingkat korosi yang berbeda [11].

Beberapa studi tentang biodiesel oleh peneliti sebelumnya lebih banyak menekankan pada aspek pembuatan serta karakterisasi tentang biodiesel. Sifat korosifitas dari biodiesel pada umumnya hanya dikarakterisasi menggunakan uji korosi strip tembaga berdasarkan ASTM D-130. Chen dkk [12] menginvestigasi efek korosi dari biodiesel dan bioethanol pada material logam pada suhu ruang dengan uji immersi. Pada permukaan paduan aluminium terbentuk bintik korosi setelah diimmersi dalam bioethanol sedangkan korosi pitting ditunjukkan pada permukaan baja karbon dan besi tuang setelah diimmersi dengan biodiesel. Kaul dkk [11] telah mempelajari karakteristik korosi dari biodiesel yang disintesis dari biji tumbuhan yang mengandung minyak. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa biodiesel tersebut tidak menimbulkan efek korosi pada piston. Fazal dkk [13] melaporkan bahwa meningkatnya suhu cenderung meningkatkan laju korosi baja karbon di dalam biodiesel. Hal ini disebabkan kandungan air dan produk oksidasi meningkat. Pada penelitian ini difokuskan untuk menganalisis pengaruh temperatur penyimpanan biodiesel minyak goreng bekas terhadap korosifitas dari logam tembaga dan aluminium.

II. METODE PENELITIAN

A. Sintesis Biodiesel

Proses esterifikasi-transesterifikasi dilakukan pada reaktor dengan volume 1 L. Reaktor dilengkapi dengan termostat sebagai pengatur suhu reaktor dan pengaduk magnetik. Sebanyak 500 gr dari minyak goreng bekas yang telah ditreatment melalui filtrasi kemudian dipanaskan hingga suhunya mencapai 60 °C. Tabel 1 menunjukkan karakteristik dari bahan baku minyak goreng setelah perlakuan filtrasi. Minyak goreng tersebut selanjutnya direaksikan dengan larutan metanol (99% wt Merck) dengan perbandingan molar minyak:metanol sebesar 1:6 dengan katalis H₂SO₄(99% wt Merck)0,5%. Minyak goreng selanjutnya dimurnikan dan dilanjutkan transesterifikasi pada molar rasio minyak:metanol sebesar 1:6 dengan katalis NaOH (99% wt Merck) sebanyak 0,5%. Proses reaksi tersebut dilakukan pada suhu 60 °C selama 3 jam. Hasil reaksi tersebut didinginkan sehingga terbentuk dua lapisan yaitu lapisan atas dan lapisan bawah. Lapisan atas berupa biodiesel sedangkan lapisan bawah berupa campuran gliserol, metanol sisa, dan katalis. Biodiesel yang terbentuk selanjutnya dipisahkan dan dicuci dengan aquadest. Setelah dilakukan pencucian pada biodiesel selanjutnya dilakukan pemanasan biodiesel pada suhu 105 °C untuk menghilangkan kandungan air.

Tabel 1. Karakteristik Minyak Goreng Bekas

Parameter	Hasil Analisa	Metode
Densitas 30 °C (g/cm ³)	0,9128	piknometer
Kadar air (%)	1,29	ASTM D-6304
Viskositas 30°C (Cps)	8,90	ASTM D-445
Bilangan asam (mg KOH/g)	2,54	volumetri

B. Karakterisasi dan Pengujian Korosi Biodiesel

Biodiesel dianalisis karakteristiknya seperti densitas, viskositas dengan piknometer, angka asam (ASTM D-664), moisture content (ASTM D-6304), sulfur (ASTM D-4298), kalori (ASTM D-240). Kandungan FAME dianalisis dengan menggunakan perangkat GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrofotometry*) TQ8030 Shimadzu. Suhu kolom diprogram dengan suhu 65°C (ditahan 8 menit) kemudian dinaikkan dengan laju 4°C/menit hingga suhunya mencapai 250 °C (ditahan 20 menit). injektor dan detektor diatur pada suhu masing-masing sebesar 250 °C dan 200 °C

Pengujian korosi dilakukan menggunakan metode uji celup berdasarkan ASTM G-31. Dalam pengujian ini plat aluminium dan tembaga dipotong dengan dimensi 25 x 50 x 2mm. Sebelum dilakukan uji pencelupan potongan logam tersebut diabrasi dengan menggunakan kertas gosok berukuran 400-1200 grit untuk membersihkan kotoran dan kerak korosi pada permukaan logam uji tersebut. Selanjutnya setelah diabrasi logam uji dibersihkan dengan aquadest dan dibilas dengan acetone. Setelah dicuci logam uji dikeringkan di dalam oven. Setelah logam uji ditimbang dilanjutkan dengan pencelupan logam uji pada biodiesel dalam tabung reaksi selama 40 hari. Suhu pencelupan biodiesel divariasi yaitu pada suhu 30 °C dan 70 °C Setelah uji pencelupan dilakukan pembersihan dan penimbangan untuk mengetahui besarnya massa yang hilang akibat korosi. Besarnya laju korosi dihitung dengan persamaan:

$$CR(mmy) = 8,76 \frac{\Delta m}{\rho TS} \quad (1)$$

CR dinyatakan dalam mmy, W adalah berat yang hilang (g), D adalah densitas (g/cc), T adalah waktu celup (jam) dan A adalah luas area logam uji (m²). Morfologi logam uji setelah mengalami korosi di uji dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Biodiesel yang diperoleh dari hasil esterifikasi dan transesterifikasi minyak goreng bekas memiliki karakteristik sebagaimana yang disajikan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Karakteristik Biodiesel Hasil Sintesis

Parameter	SNI	Hasil Analisa
Densitas (g/ml)	0,85-0,89	0,865
Viskositas (Cps)	2,3-6	3,5
Moisture content (% wt)	maks. 0,05%	0,03
TAN (mgKOH/g)	maks. 0,8	0,06
Sulfur (ppm)	maks. 100	0,12
Kadar FAME (% wt)	min. 96,5	98,41

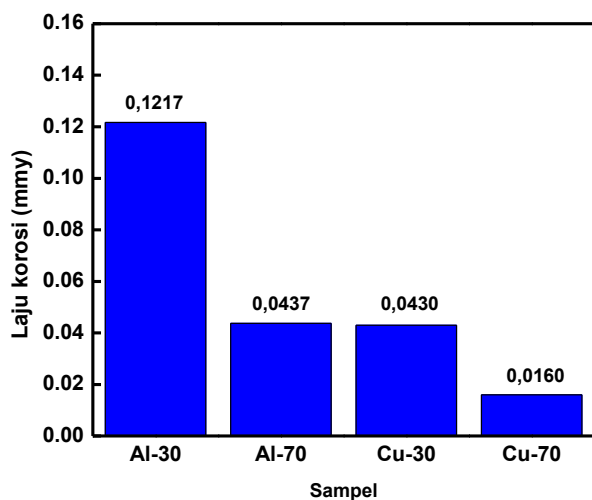
Biodiesel yang dihasilkan berdasarkan tabel di atas sudah sesuai dengan standart SNI sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar konvensional. Hasil analisa *Mass Spectrofotometry* menunjukkan bahwa komponen biodiesel tersusun dari FAME yang terdiri dari metil palmitat, metil linoleat, metil oleat, dan metil stearat dengan komposisi yang disajikan pada tabel 3. Kandungan total FAME pada biodiesel yang disintesis dengan menggunakan waktu reaksi 3 jam sebesar 98,41% dengan komponen penyusun terbesar berupa metil oleat

Tabel 3. Kandungan FAME

Komponen FAME	Kandungan (%)
Metil palmitat	31,31
Metil linoleat	14,3
Metil oleat	45,54
Metil stearate	7,2

Gambar 1 menunjukkan bahwa laju korosi pada logam aluminium dan tembaga yang tercelup pada biodiesel dipengaruhi oleh suhu. Pengujian laju korosi dari kedua logam tersebut dilakukan pada dua variasi suhu yaitu pada suhu 30 °C dan suhu 70 °C. Hasil uji immersi menunjukkan bahwa dengan meningkatkan suhu biodiesel akan cenderung menurunkan laju korosi pada logam aluminium dan tembaga. Hal ini kontradiksi dengan yang diperkirakan bahwa meningkatkan suhu pada umumnya akan meningkatkan laju korosi. Meningkatkan suhu biodiesel akan menurunkan jumlah oksigen yang terabsorpsi. Laju oksidasi dalam uji kestabilan komponen lemak dan minyak dipengaruhi oleh konsentrasi oksigen yang terlarut. Pada suhu tinggi konsentrasi oksigen yang terlarut semakin rendah sehingga menurunkan laju korosi pada biodiesel [5]. Hasil uji korosi sebagaimana yang disajikan pada gambar 1 menunjukkan bahwa laju korosi terjadi pada aluminium yang tercelup pada suhu 30 °C selama 40 hari yaitu sebesar 0,1217 mmy.

Biodiesel memiliki kandungan asam lemak tak jenuh dengan lebih banyak ikatan rangkap karbon dan lebih sedikit hidrogen sehingga lebih rentan terhadap oksidasi. Oksidasi biodiesel dapat menurunkan kualitas bahan bakar akibat terbentuknya produk oksidasi seperti aldehid, alkohol, asam karboksilat rantai pendek, dan sedimen [1]. Hasil oksidasi tersebut bersifat korosif terhadap mesin.



Gambar 1. Laju Korosi Al dan Cu Pada Biodiesel

Tabel 3 menunjukkan perubahan kadar air biodiesel setelah uji immersi pada suhu 30 °C dan 70 °C. Kadar air pada biodiesel cenderung meningkat dengan meningkatnya waktu simpan dari biodiesel. Densitas biodiesel sebelum mengalami uji immersi berdasarkan data tabel 2 memiliki densitas awal sebesar 0,865 kg/m³ serta memiliki kadar air sebesar 0,03%. Peningkatan densitas biodiesel baik yang diimmersi dengan logam Al maupun Cu pada kedua variasi suhu 30 °C dan 70 °C disebabkan meningkatnya kadar air pada biodiesel.

Peningkatan kadar air pada pada biodiesel terjadi pada pada biodiesel yang telah di uji immersi dengan logam Cu pada suhu 30 °C yaitu sebesar 2,466 %wt. Densitas biodiesel setelah uji immersi dengan logam Al dan Cu pada suhu 30°C disajikan pada tabel 4. Data pada tabel 4 menunjukkan bahwa pada biodiesel yang diimmersi dengan logam Cu diperkirakan mengalami proses degradasi yang paling cepat yang mengarah pada pembentukan air sehingga menyebabkan meningkatnya kadar air yang tinggi pada biodiesel. Selain itu biodiesel memiliki karakteristik yang bersifat higroskopis sehingga mudah menyerap air di udara.

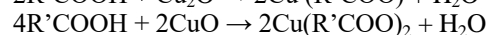
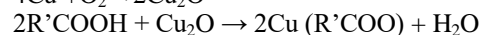
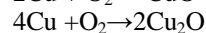
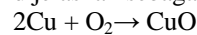
Tabel 4. Kadar Air Biodiesel

Logam uji	Kadar air setelah pengujian (% wt)	
	30 °C	70 °C
Al	1,827	1,818
Cu	2,466	1,370

Tabel 5. Densitas Biodiesel setelah Immersi pada 30 °C

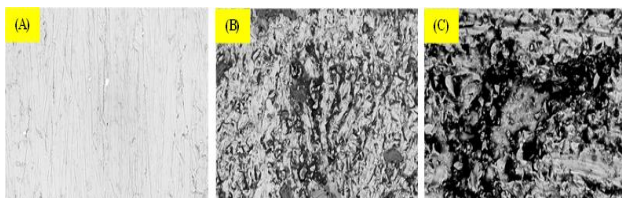
Logam uji	Densitas (kg/m ³)
Al-30	0,865
Cu-30	0,873

Gambar 2 dan gambar 3 menunjukkan hasil SEM dari material aluminium dan tembaga sebelum dan setelah mengalami pengujian immersi di dalam biodiesel. Serangan korosi pada baja karbon tersebut tersebar pada permukaan baja ditandai dengan terbentuknya lubang (pit) yang berwarna gelap akibat proses korosi. Permukaan logam yang terkontak dengan biodiesel menunjukkan kerusakan akibat korosi. Pembentukan pit atau daerah yang berwarna gelap terutama pada logam Cu merupakan karakteristik dari pembentukan produk oksida berupa CuO dan Cu₂O. kedua logam tersebut sangat reaktif dengan asam organik yang terbentuk akibat proses degradasi dari biodiesel. Mekanisme korosi pada tembaga dapat dijelaskan sebagai berikut:

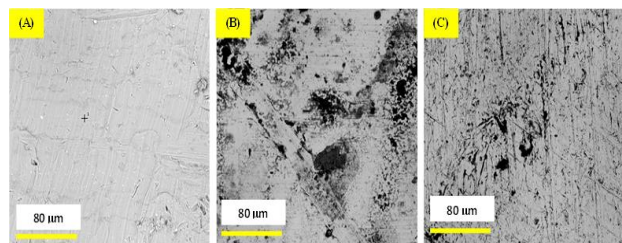


Oleh karena itu berat logam setelah uji immersi. Perubahan warna biodiesel dapat diamati pada gambar 4. Perubahan warna tersebut menunjukkan adanya ion logam yang terlarut pada biodiesel akibat proses korosi.

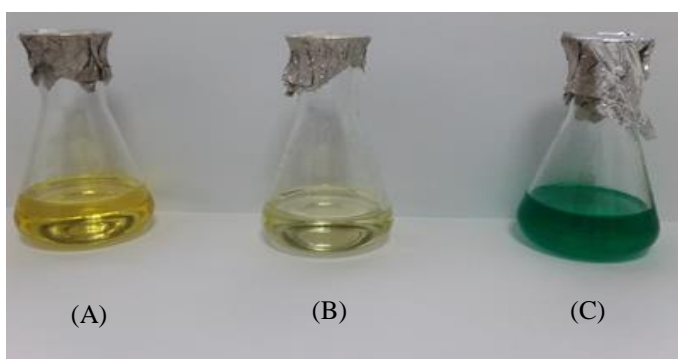
Adanya logam yang terlarut pada biodiesel baik aluminium maupun tembaga dapat mempercepat reaksi katalitik proses degradasi biodiesel. Logam dapat secara langsung bereaksi dengan asam lemak menghasilkan radikal alkil asam lemak. Selama proses oksidasi biodiesel oleh oksigen di udara, metil ester dari biodiesel membentuk radikal bebas di samping ikatan rangkap. Pembentukan radikal bebas tersebut mengarah pada reaksi yang membentuk produk baru yang seperti aldehid, keton, lakton, asam formiat, asam asetat, dan asam propionat [14].



Gambar 2. SEM Logam Aluminium pada Biodiesel (A) Sebelum Uji (B) Setelah Uji Pada Suhu 30 °C dan (C) Setelah Uji pada Suhu 50 °C



Gambar 3. SEM Logam Tembaga pada Biodiesel (A) Sebelum Uji (B) Setelah Uji pada Suhu 30 °C Dan (C) Setelah Uji Pada Suhu 50 °C



Gambar 4. Warna Biodiesel sebelum Kontak (A) dan Setelah Kontak dengan Logam (B) Al Dan (C) Cu

Produk reaksi yang terbentuk tersebut bersifat korosif pada logam. Korosifitas biodiesel dipengaruhi oleh kestabilan dari biodiesel. Kestabilan biodiesel terhadap oksidasi oleh oksigen di udara dipengaruhi oleh kandungan biodiesel. Biodiesel yang diproduksi dari minyak goreng bekas memiliki kandungan metil oleat dan linoleat yang mudah teroksidasi oleh suhu dan udara membentuk asam organik sehingga berpotensi menyebabkan korosi pada logam. Hal ini didukung oleh penelitian Park dkk [15] yang mempelajari pengaruh komposisi asam lemak pada tingkat kestabilan oksidasi dari biodiesel. Senyawa asam organik yang berpotensi korosif.

Dalam penelitian tersebut dilaporkan bahwa tingkat kestabilan dari biodiesel akan menurun ketika kandungan asam linoleat dalam biodiesel meningkat. Selain itu biodiesel yang memiliki kandungan TAN yang berpotensi menyebabkan korosi pada logam. Kandungan yang tinggi dari asam lemak tidak jenuh (metil oleat dan metil linoleat) cenderung menyebabkan biodiesel mudah teroksidasi oleh udara membentuk radikal bebas yang pada akhirnya mengarah pada pembentukan senyawa organik yang korosif.

IV. KESIMPULAN

Biodiesel yang diproduksi dari bahan baku minyak goreng bekas berpotensi menyebabkan korosi pada logam aluminium dan tembaga. Kandungan asam lemak tidak jenuh menyebabkan biodiesel mudah teroksidasi oleh oksigen di udara sehingga menghasilkan produk samping senyawa organik yang bersifat korosif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatkan suhu biodiesel menyebabkan laju korosi menurun untuk kedua logam baik Al dan Cu. Laju korosi minimum terjadi pada suhu 70 °C dengan waktu immersi 40 hari yaitu sebesar 0,0437 mmy pada logam Al dan 0,0160 mmy pada logam Cu. Seiring dengan waktu uji immersi selama 40 hari menyebabkan kadar air biodiesel meningkat serta perubahan warna biodiesel yang disebabkan oleh adanya kandungan ion logam yang terlarut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh program PDP Ristek Dikti Tahun 2017. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur, P3M, kepala laboratorium dan laboran kimia PPNS yang telah menyediakan fasilitas dan membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jin, Dingfeng., Zhou, Xuehua., Wu, Panpan., Jiang, Li., and Ge, Hongliang., "Corrosion behavior of ASTM 1045 mild steel in palm biodiesel", *J. Renewable Energi*, 81, pp. 457-463, 2015
- [2] Hu, E., Xu, Y., Hu, X., Pan, L., and Jiang, S., "Corrosion Behaviors of Metals in Biodiesel from Rapeseed Oil and Methanol", *J. of Renewable Energy*, 37, pp. 371-378, 2012
- [3] Jain, S., and Sharma, M.P., "Correlation development for effect of metal contaminant on the stability of Jatropha curcas biodiesel", *J. Fuel*, 90, pp. 2045-2050, 2011
- [4] Dinkov, R., Hristov, G., Stratiev, D., Aldayri, V.B., "Effect of commercially available antioxidants over biodiesel/diesel blends stability", *J. of Fuel*, 88, pp. 732-737, 2009
- [5] Aquino, I.P., Hernandez, R.P.B., Chicoma, D.L., Pinto, H.P.F., and Aoki, I.V., "Influence of Light, Temperature and Metallic Ions on Biodiesel Degradation and Corrosiveness to Copper and Brass", *J. of Fuel*, 102, pp. 795-807, 2012
- [6] Haseeb, A., Masjuki, H.H., Ann, L.J., and Fazal, M.A., "Corrosion Characteristics of Copper and Leaded Bronze in Palm Biodiesel", *J. of Fuel Process Technology*, 91, pp. 329-334, 2010
- [7] Setiawan, A., and Nugroho, A., "Analisis korosifitas biodiesel yang diproduksi dari minyak goreng bekas terhadap material baja karbon", *Seminar Nasional Maritim, Sains, dan Teknologi Terapan*, 1, pp. 237-241, 2016
- [8] Karavalakis, G., Stournas, S., and Karonis, D., "Evaluation of the Oxidation Stability of Diesel/Biodiesel Blends", *J. of Fuel*, 89, pp. 2483-2489, 2010
- [9] Haseeb, A., Fazal, M.A., Jahirul, M.I., and Masjuki, H.H., "Compatibility of automotive materials in biodiesel: a review", *J. of Fuel*, 90, pp. 922-931, 2011
- [10] Knothe, G., "Analysis of oxidized biodiesel by 1 H-NMR and effect of contact area with air", *Eur J. of Lipid Science Technology*, 108, pp. 493-500, 2006
- [11] Kaul, S., Saxena, R.C., Kumar, A., Negi, M.S., Bhatnagar, A.K., and Goyal, H.B., "Corrosion behavior of biodiesel from seed oils of Indian origin on diesel engine parts", *J. of Fuel Process Technology*, 88, pp. 303-307, 2007
- [12] Chen, L., Chen, K., Deng, B., and Li, Z., "The metal corrosion of bio-fuel", *Corrosion Protect*, 30, pp. 168-171 (in Chinese), 2009
- [13] Fazal, M.A., Haseeb, A., and Masjuki, H.H., "Comparative Corrosive Characteristics of Petroleum Diesel and Palm Biodiesel for Automotive Materials", *J. of Fuel Process Technology*, 91, 1308-1315, 2010

- [14] Sarin, A., Arora, R., Singh, N.P., Sharma, M., and Malhotra, R.K., "Influence of Metal Contaminants on Oxidation Stability of Jatropha Biodiesel", *J. of Energy*, 34, pp. 1271-1275, 2009
- [15] Park, J.Y., Kim, D.K., Lee, J.P., Park, S.C., Kim, Y.J., and Lee, J.S., "Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties", *J. of Bioresource Technology*, 99, pp. 1196-1203, 2008

Halaman ini sengaja dikosongkan