

Karakteristik Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas sebagai Campuran Bahan Bakar pada Mesin Diesel

Adjar Pratoto^{1,*}, Asyhari Prima Nanda¹ dan Fadjar Goembira²

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas – Padang

²Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Andalas – Padang

*Korespondensi: adjar.pratoto@ft.unand.ac.id

Abstrak. Penelitian ini dimaksudkan untuk menghasilkan biodiesel dari minyak goreng bekas tipikal di Indonesia pada umumnya, dan di kota Padang pada khususnya serta uji coba laboratorium pemakaian biodiesel tersebut pada mesin diesel. Proses pembuatan biodiesel dilakukan melalui proses pembersihan/penyaringan minyak goreng bekas, *degumming*, esterifikasi, dan transesterifikasi. Esterifikasi dilakukan dengan menggunakan pelarut metanol dan katalis asam sulfat. Sedangkan, pada transesterifikasi digunakan katalis NaOH. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sifat fisik dari biodiesel yang dihasilkan (densitas, titik nyala, titik tuang, viskositas, kandungan sulfur, kadar air) memenuhi baku SNI untuk biodiesel, kecuali kadar sulfur yang masih sedikit melebihi ambang batas. Ujicoba laboratorium pada mesin diesel dilakukan dengan cara mencampurkan minyak biodiesel dengan minyak diesel dengan komposisi B0, B5, B10, B15, dan B20. Hasil pengukuran memperlihatkan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik meningkat dan efisiensi termal turun dengan semakin banyaknya komposisi biodiesel. Adapun, emisi gas buang (CO₂, CO, dan HC) semakin rendah dengan semakin banyaknya kandungan biodiesel pada campuran bahan bakar.

Kata kunci: minyak goreng bekas, biodiesel, kinerja mesin diesel, emisi gas buang

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Sektor transportasi saat ini masih mengandalkan minyak bumi sebagai sumber energi utama. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak bumi yang ketersediaan dan aksesibilitasnya kadang-kadang sulit diprediksi serta sekaligus untuk menekan dampak penggunaan sumber energi dari minyak bumi terhadap lingkungan, perlu dicarikan sumber energi alternatif yang dapat diupayakan dari sumber-sumber yang tersedia secara domestik. Minyak nabati merupakan sumber energi yang dapat diupayakan secara lokal dengan sifat mampu terbarukan dan memiliki karakteristik yang mirip dengan minyak diesel sehingga dalam penerapannya hanya membutuhkan sedikit, atau tanpa, modifikasi pada mesin diesel. Namun demikian, minyak nabati tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar pada mesin diesel karena viskositasnya masih tinggi dan volatilitasnya rendah. Minyak nabati biasanya diolah terlebih dahulu menjadi biodiesel sebelum digunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel.

Saat ini, biaya pengolahan biodiesel masih tinggi sehingga biodiesel belum mampu bersaing secara ekonomis dengan minyak diesel. Dalam pengolahan biodiesel, biaya untuk bahan baku merupakan komponen yang paling dominan, dapat mencapai lebih dari 70% dan bahkan dapat mencapai 95% dari biaya total produksi [1,2,3]. Dalam konteks ini, minyak goreng bekas (MGB) memiliki potensi yang

baik untuk dikembangkan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Karena memanfaatkan produk bekas, penyediaan bahan baku menjadi lebih murah dibandingkan dengan bahan baku biodiesel lainnya karena tidak melewati berbagai rantai proses produksi, seperti penyediaan lahan, pembibitan, pemupukan, pemanenan, ekstraksi minyak, konversi minyak menjadi biodiesel sebagaimana yang ditemui dalam minyak sawit, minyak jarak pagar, dan sebagainya. Indonesia sendiri memiliki potensi yang besar untuk mengembangkan biodiesel dari MGB. Kementerian Perdagangan mencatat kebutuhan minyak goreng nasional pada tahun 2015 adalah sebanyak 5,2 juta ton [4]. Bilamana setengah dari jumlah tersebut berupa MGB, maka akan diperoleh sediaan bahan baku biodiesel dari MGB sebanyak kira-kira 2,6 juta ton per tahun. Pemanfaatan MGB sebagai bahan baku biodiesel sebenarnya juga telah dilakukan di beberapa negara, seperti Jepang, Korea, Inggris, Amerika Serikat, dan Meksiko [5]. Selain menyokong pasokan energi, pemanfaatan MGB juga membantu menekan emisi gas rumah kaca dan mengurangi masalah yang ditimbulkan dalam pembuangan limbah dari aktifitas penggoresan. MGB sendiri memiliki sifat mampu urai alami (*biodegradable*) yang baik dibandingkan dengan minyak diesel, namun dengan jumlah timbulan yang besar, pencemaran yang menyertainya juga cukup besar khususnya di negara berkembang yang pada umumnya belum menerapkan

kan aturan yang ketat dalam penanganan limbah. Sementara di negara-negara maju, pembuangan minyak bekas yang tidak sesuai dengan aturan akan dikenai penalti.

Karakteristik MGB sangat bervariasi, tergantung dari jenis minyak nabati dan frekuensi pemakaian minyak dalam penggorengan. Bahkan dari sumber (restoran) yang sama pun, sifat fisik MGB hanya memperlihatkan sedikit konsistensi [6]. Variasi sifat ditemui terutama pada kadar air, bilangan peroksida, polar material total dan, dari sumber perolehan tertentu, pada bilangan asam dan bilangan iodium [7]. MGB memiliki sifat-sifat fisik yang berbeda dibandingkan dengan minyak goreng yang belum mengalami pemanasan. Pada saat penggorengan, minyak berinteraksi dengan air, udara, dan suhu tinggi secara terus menerus atau berulang-ulang. Selama penggorengan tersebut, minyak mengalami reaksi hidrolisis, oksidasi, dan polimerisasi secara bersamaan. Akibat dari proses-proses tersebut, minyak goreng mengalami perubahan sifat kimia dan fisika, seperti perubahan densitas dan viskositas, perubahan komposisi asam lemak dengan semakin meningkatnya kandungan asam lemak jenuh, penurunan bilangan iodium, dan sebagainya [8].

Di restoran, minyak goreng atas alasan ekonomi digunakan secara berulang-ulang hingga beberapa hari. Sedangkan, di rumah tangga dan di sektor non-formal, pemakaian tersebut dapat mencapai beberapa minggu. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi biodiesel dari MGB, khususnya dari bahan baku yang diperoleh di Kota Padang. Selain itu, juga dilakukan evaluasi terhadap kinerja biodiesel dari MGB sebagai bahan bakar pada mesin diesel.

Metode Penelitian

MGB dikumpulkan dari perumahan, pedagang makanan kaki lima, catering, hotel, dan rumah makan di kawasan Pondok, Kota Padang, Sumatera Barat.

Sebelum diolah menjadi biodiesel, MGB yang telah dikumpulkan tersebut dibersihkan terlebih dahulu dari pengotor, seperti getah, fosfatida, protein, resin, asam lemak bebas dan lain-lainnya, melalui proses *degumming*. Proses *degumming* dilakukan dengan cara menambahkan asam fosfat 20% ke dalam MGB sebanyak 1% (v/v) dan dipanaskan selama 30 menit pada kisaran suhu 90°C – 130°C. Endapan yang terbentuk dipisahkan untuk dibuang dan minyak yang ada kemudian dibersihkan melalui penyaringan.

Pembuatan biodiesel banyak dilakukan melalui reaksi transesterifikasi. Pada MGB, akibat dari penggorengan yang berulang-ulang, kadar asam

lemak bebasnya meningkat sehingga, sebelum transesterifikasi, perlu diberikan perlakuan awal, yaitu esterifikasi [9, 10]. Pada penelitian ini, esterifikasi dilakukan dengan cara mereaksikan minyak dengan metanol sebanyak 30% dan asam sulfat sebanyak 1% dari volume minyak. Reaksi dilakukan pada suhu 60°C selama 60 menit. Minyak dari esterifikasi tersebut kemudian diproses lagi melalui reaksi transesterifikasi dengan menambahkan metanol sebanyak 25% dan reaksi ini dijaga pada suhu 60°C selama 60 menit. Selain itu, juga digunakan NaOH sebagai katalis.

Karakterisasi biodiesel yang meliputi pengukuran densitas, titik nyala, kadar sulfur, viskositas dan kadar air dilakukan di Pertamina, Bungus, Teluk Kabung, Padang dengan menggunakan standar ASTM. Hasil pengukuran dibandingkan dengan baku mutu biodiesel SNI.

Biodiesel yang diperoleh dari MGB diujicobakan pada mesin diesel 4 silinder dengan spesifikasi sebagaimana yang ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi mesin diesel

– Silinder 4 <i>in-line</i> , SOHC
– Ruang bakar pengabutan langsung
– Diameter dan panjang langkah 92 x 92 (mm)
– Volume silinder 2446 cc
– Perbandingan kompresi 22,3 : 1
– Tekanan kompresi 31.0 kg/cm ²
– Output maksimum 83 hp (61,9 kW)
– Sistem bahan bakar - Sistem akumulator
– Injeksi pompa pribadi
– Nozzle tipe lubang

Pada gambar 1 diperlihatkan instalasi mesin diesel yang digunakan dalam pengujian.



Gambar 1. Instalasi pengujian

Uji coba biodiesel pada mesin diesel dilakukan dengan cara mencampur biodiesel tersebut dengan minyak diesel. Agarwal & Das [11] menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi puncak terlihat pada komposisi biodiesel pada kisaran antara 5 hingga 25%. Adapun, Gad dkk. [12] merekomendasikan pencampuran biodiesel dengan minyak diesel hingga 20 % untuk mendapatkan kinerja mesin

yang kurang lebih setara dengan kinerja mesin berbahan bakar minyak diesel murni.

Mengacu pada penelitian-penelitian tersebut, pada penelitian ini, biodiesel dicampur dengan minyak diesel dengan komposisi (a) B0, (b) B5, (c) B10, (d) B15, dan (e) B20. Angka pada komposisi tersebut menyatakan persentase biodiesel dalam campuran. Jadi, pada B0, kandungan biodieselnnya adalah 0% atau hanya digunakan minyak diesel murni. Pengujian dilakukan pada beban konstan sebesar 30 psi dengan variasi putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1800 rpm. Dalam uji mesin ini, dilakukan pengukuran terhadap kinerja mesin (efisiensi termal), konsumsi bahan bakar, dan rasio udara-bahan bakar. Pada Tabel 2 diperlihatkan sifat campuran biodiesel dengan minyak diesel dengan komposisi mulai dari minyak diesel murni (B0) hingga campuran 20% biodiesel (B20).

Selain kinerja mesin, dilakukan juga pengukuran emisi gas buang. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan gas analyzer *Stargas 898*. Komponen yang diukur adalah kadar karbon dioksida CO₂, karbon monoksida CO dan karbon yang tak terbakar.

Tabel 2. Sifat campuran biodiesel-minyak diesel

Sifat	B0	B5	B10	B15	B20
Massa Jenis (kg/m ³)	824,2	828,1	829,1	831,1	835,1
Viskositas, cSt	3,431	3,487	3,516	3,557	3,908
Titik nyala, °C	58	59	59	60	61
Kadar air, ppm	66	85	102	120	212
Kadar sulfur, %	0,083	0,076	0,073	0,071	0,071
Nilai kalor, MJ/kg	45,8	45,67	45,46	45,34	45,22

Hasil dan Pembahasan

Sifat fisik biodiesel yang diperoleh dari MGB diperlihatkan pada tabel 3. Sebagai pembandingan,

pada tabel tersebut juga ditampilkan sifat fisik biodiesel berbahan baku MGB dari berbagai negara [13-16] serta bakuan biodiesel menurut SNI. Sifat-sifat fisik biodiesel dari beragam sumber MGB tersebut tidak terlalu bervariasi. Variasi yang agak signifikan adalah pada titik nyala. Selain itu, juga terdapat variasi nilai kalor walaupun dengan kisaran yang lebih kecil. Variasi tersebut kemungkinan terjadi karena adanya variasi dalam komposisi kimia. Adapun, variasi pada kadar air lebih disebabkan oleh faktor pengolahan. Pada penelitian ini, ditemukan kandungan sulfur pada biodiesel yang agak tinggi. Kandungan sulfur yang agak tinggi pada biodiesel MGB tersebut kemungkinan berasal dari katalis pada saat transesterifikasi. Dibandingkan dengan bakuan SNI, biodiesel yang dihasilkan dari MGB dalam penelitian ini secara umum memenuhi syarat ambang batas yang ditetapkan, kecuali kandungan sulfurnya yang masih tinggi. Perbaikan proses diperlukan untuk menekan kadar sulfur pada biodiesel tersebut.

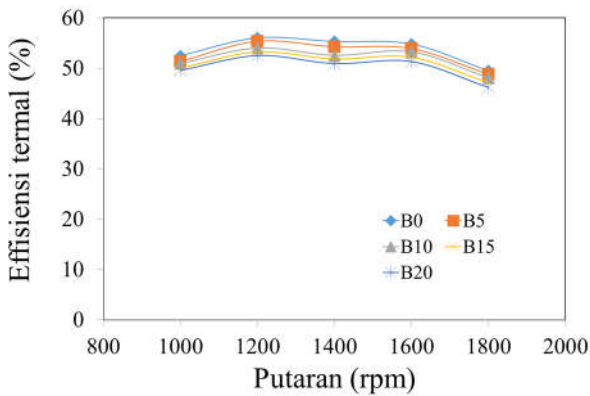
Sifat-sifat biodiesel yang ditampilkan dalam tabel 1 tersebut bersifat kasuistik; terdapat variasi data yang cukup besar dalam literatur [17, 18]. Perbedaan tersebut ditimbulkan oleh perbedaan dalam karakteristik atau jenis bahan baku, perlakuan dan pengolahan biodiesel.

Pada ujicoba penggunaan biodiesel dari MGB pada mesin diesel, telah dilakukan pengukuran terhadap kinerja mesin diesel. Salah satunya adalah efisiensi termal. Efisiensi termal menggambarkan perbandingan antara daya berguna yang dihasilkan oleh mesin dengan konsumsi bahan bakar dalam basis satuan yang sama. Pada Gb.2 diperlihatkan pengaruh komposisi biodiesel-minyak diesel terhadap efisiensi termal mesin diesel pada berbagai putaran mesin. Dari gambar tersebut terlihat bahwa efisiensi termal menurun seiring dengan peningkatan jumlah kandungan biodiesel dalam campuran bahan bakar. Penurunan efisiensi tersebut berkisar antara 1,2 hingga 4,9% dengan putaran mesin antara 1000 hingga 1800 rpm dan komposisi biodiesel dari 5 hingga 20%.

Tabel 3. Sifat fisik biodiesel

Sifat	Penelitian sekarang	[13]	[14]	[15]	[16]	SNI 7182:2015
Massa Jenis, kg/m ³	869,3	878	888	886	870	850 – 890
Titik Nyala, °C	103	135	156	178	164	100 (min)
Viskositas, cSt	4,45	5,36	4,32	4,68	5,03	2,3 – 6,0
Kandungan Sulfur, mg/kg	64	n/a	n/a	n/a	2	50 (maks)
Kandungan air, %	0,05	0,034	n/a	n/a	0	0,05* (maks)
Nilai kalor, MJ/kg	41,73	n/a	39,55	37,64	n/a	n/a

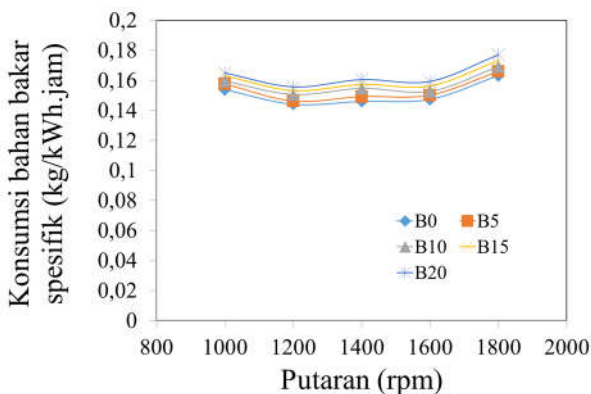
*termasuk sedimen; n/a: tidak ada data



Gambar 2. Efisiensi termal

Kebanyakan penelitian melaporkan peningkatan efisiensi termal pada penggunaan biodiesel dibandingkan dengan minyak diesel [19]. Sementara itu, Canakci dan van Gerpen [20] melaporkan efisiensi termal yang hampir sama pada penggunaan biodiesel dari minyak kedelai, lemak kuning, dan minyak diesel no. 2. Namun, penelitian lain [21,22] melaporkan adanya penurunan efisiensi termal pada penggunaan biodiesel dibandingkan dengan penggunaan minyak diesel.

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan daya. Gambar 3 menunjukkan KBBS pada berbagai komposisi campuran biodiesel-minyak diesel dan putaran mesin. Dari gambar terlihat bahwa KBBS meningkat seiring dengan peningkatan komposisi biodiesel dalam campuran. Peningkatan berkisar dari 1,5 hingga 5,8%.

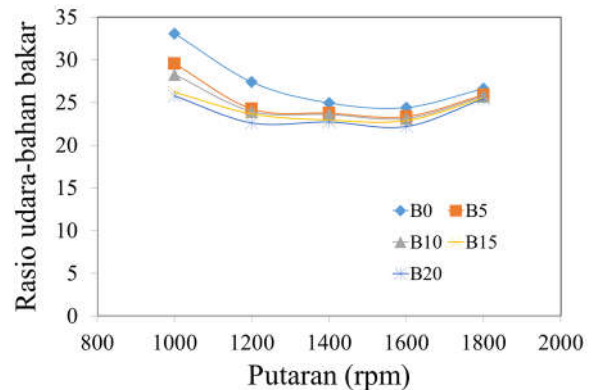


Gambar 3. Konsumsi bahan bakar spesifik

Umumnya, nilai kalor biodiesel lebih rendah daripada nilai kalor minyak diesel sehingga konsumsi bahan bakar biodiesel akan lebih tinggi untuk menghasilkan torsi mesin yang sama [23]. Selain itu, kandungan oksigen dalam biodiesel menempati sebagian volume dalam campuran sehingga akan meningkatkan konsumsi bahan bakar [24]. Dengan demikian, konsumsi KBBS akan meningkat dengan semakin besarnya proporsi biodiesel. Namun, pada beberapa penelitian juga ditemukan penurunan KBBS. Penurunan ini diaki-

batkan oleh nilai kalor biodiesel yang rendah, densitas dan viskositas yang tinggi, tekanan injeksi bahan bakar dan teknologi injeksi bahan bakar [19].

Pada mesin diesel, rasio udara-bahan bakar bervariasi selama pembakaran karena mekanisme pembakaran bahan bakar dikendalikan terutama oleh difusi. Mesin diesel biasanya dioperasikan pada campuran miskin dengan jumlah udara melebihi jumlah udara stoikiometriknya. Rasio udara-bahan bakar yang tinggi memungkinkan pembakaran lebih sempurna karena ketersediaan oksigen yang lebih banyak.



Gambar 4. Rasio udara-bahan bakar

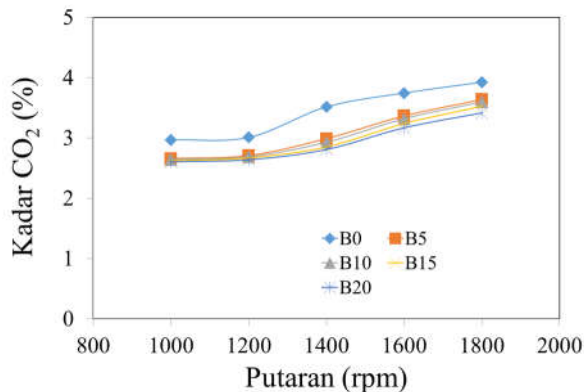
Rasio udara-bahan bakar berkurang dengan semakin banyaknya komposisi biodiesel pada campuran bahan bakar. Hal ini terjadi seiring dengan kenaikan konsumsi bahan bakar [12]. Dari gambar 4 terlihat bahwa penurunan rasio udara-bahan bakar mencapai hampir 30% pada putaran rendah, tetapi tidak terlalu signifikan pada putaran tinggi.

Pada gambar 5 hingga 7 diperlihatkan, masing-masing kandungan gas karbon dioksida, gas karbon monoksida, dan karbon tak terbakar pada gas hasil pembakaran untuk berbagai komposisi campuran bahan bakar dan putaran mesin.

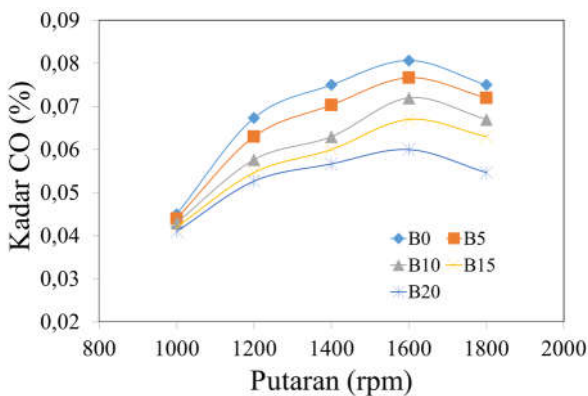
Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa penggunaan biodiesel mampu menurunkan emisi karbon dioksida. Penurunan tersebut berkisar dari 7 hingga 20%. Untuk tiap-tiap putaran mesin, tingkat penurunan emisi karbon dioksida meningkat dengan bertambahnya komposisi biodiesel pada campuran bahan bakar. Penelitian lain melaporkan adanya kenaikan emisi karbon dioksida, sementara penelitian yang lain lagi melaporkan emisi karbon dioksida hampir sama pada mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel dan minyak diesel. Saat ini belum ada konsesus universal tentang pengaruh biodiesel terhadap emisi karbon dioksida pada mesin diesel [25].

Emisi karbon monoksida lebih rendah pada biodiesel. Biodiesel mengandung oksigen kurang lebih 10% [24] lebih banyak sehingga memberikan lebih banyak oksigen selama pembakaran [26]. Dengan adanya oksigen yang lebih banyak ini,

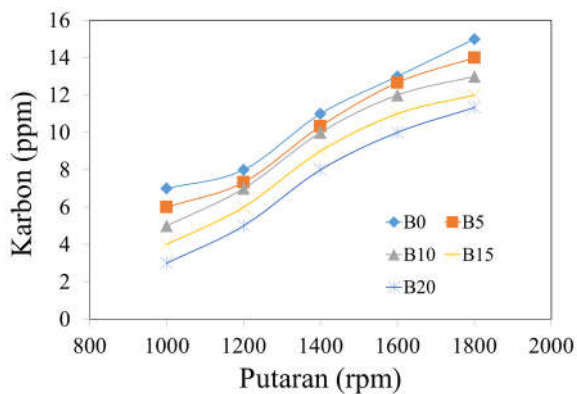
karbon monoksida dan karbon yang belum terbakar akan teroksidasi sehingga mengurangi kadar karbon monoksida dan karbon tak terbakar pada emisi gas buang.



Gambar 5. Emisi karbon dioksida



Gambar 6. Emisi karbon monoksida



Gambar 7. Emisi karbon tak terbakar

Terdapat keragaman dalam penelitian-penelitian terkait dengan emisi gas buang. Kecenderungan umum adalah bahwa konsentrasi karbon dioksida, karbon monoksida dan hidrokarbon dalam gas buang adalah menurun dibandingkan dengan mesin diesel berbahan bakar minyak diesel. Namun, beberapa penelitian melaporkan kemiripan konsentrasi dan penelitian lain melaporkan peningkatan konsentrasi [27].

Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dilakukan pembuatan biodiesel dari MGB. Sifat fisik biodiesel yang dihasilkan tidak berbeda jauh dengan biodiesel dari MGB yang ditemui dalam literatur meskipun dari bahan-bahan baku yang berbeda. Secara umum, biodiesel yang dihasilkan juga memenuhi bakuan dari SNI kecuali pada kandungan sulfur yang masih agak tinggi. Perbaikan proses perlu dilakukan untuk menekan kadar sulfur tersebut sehingga tidak melampaui ambang batas SNI.

Hasil uji coba biodiesel dari MGB pada mesin diesel menunjukkan penurunan efisiensi termal dan peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik dibandingkan dengan mesin diesel yang menggunakan bahan bakar minyak diesel murni. Adapun, pengaruh penggunaan biodiesel terhadap rasio udara-bahan bakar hanya teramati secara nyata pada putaran yang rendah. Terdapat ragam yang tinggi dalam literatur-literatur terkait dengan pengaruh penggunaan biodiesel terhadap kinerja mesin diesel dan emisi gas buang karena kinerja mesin diesel dan emisi dipengaruhi oleh banyak faktor.

Referensi

- [1] A. B. Chhetri, K. C. Watts and M. R. Islam, 2008, Waste cooking oil as an alternate feedstock for biodiesel production, *Energies* 1. 3-18
- [2] J. Connemann & J. Fischer, 1998, Biodiesel in Europe 1998 – Biodiesel Processing Technologies, *International Liquid Biofuels Congress*, July 19-22, Curitiba – Parana, Brazil
- [3] M. J. Haas, A. J. McAloon, W. C. Yee, T. A. Foglia, 2006, A process model to estimate biodiesel production costs, *Bioresour Technol* 97, 671-678
- [4] <http://nasional.kontan.co.id/news/kebutuhan-minyak-goreng-tahun-ini-52-juta-ton> diakses 8 Agustus 2017
- [5] L. Lin, Z. Cunshan, S. Vittayapadung, S. Xiangqian, D. Mingdong, Opportunities and challenges for biodiesel fuel, *Applied Energy* 88 (2011) 1020–1031
- [6] W. G. Knothe & K. R. Steidley, A comparison of used cooking oils: A very heterogeneous feedstock for biodiesel, *Bioresour Technol* 100 (2009) 5796–5801 [2]
- [7] H. Sanli, M. Canakci, E. Alptekin, Characterization of waste frying oils obtained from different facilities, *World Renewable*

- Energy Congress, 8-13 May 2011, Linköping, Sweden, pp. 479-485
- [8] R.P. Singh, Food Frying, in *Food Engineering – Volume III* (Ed. G.V. Barbosa-Cánovas), EOLSS Publ., 10 Agt 2009
- [9] M. Berrios, M.A. Martín, A.F.Chica, A. Martín, Study of esterification and transesterification in biodiesel production from used frying oils in a closed system, *Chemical Engineering Journal* 160 (2010) 473–479
- [10] B. B. He, J. H. Van Gerpen, J. C. Thompson, Sulfur content in selected oils and fats and their corresponding methyl esters, *Applied Engineering in Agriculture* 25 (2009) 223-226
- [11] A. K. Agarwal, L. Das, Biodiesel development and characterization for use as a fuel in compression ignition engines, *Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 123 (2001), 440 –447
- [12] M.S. Gad, R. El-Araby, K.A. Abed, N.N. El-Ibiari, A.K. El Morsi, G.I. El-Diwani, Performance and emissions characteristics of C.I. engine fueled with palm oil/palm oil methyl ester blended with diesel fuel, Egypt. J. Petrol. (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.05.009>
- [13] C. Zou, P. Zhao, L. Shi, S. Huang, P. Luo, Biodiesel fuel production from waste cooking oil by the inclusion complex of heteropoly acid with bridged bis-cyclodextrin, *Bioresource Technology* 146 (2013) 785–788
- [14] Z. Utlu, Evaluation of biodiesel fuel obtained from waste cooking oil, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 29 (2007) 1295-1304
- [15] M. I. Al-Hasan Biodiesel production from waste frying oil and its application to a diesel engine, *Transport* 28 (2013) 276-289
- [16] A. B. Chhetri, K. C. Watts, M. R. Islam, Waste cooking oil as an alternate feedstock for biodiesel production, *Energies* 1 (2008) 3-18
- [17] C. A. Guerrero F., A. Guerrero-Romero and F. E. Sierra, Biodiesel production from waste cooking oil, in Dr. M. Stoytcheva (Ed.), *Biodiesel - Feedstocks and Processing Technologies*, InTech, 2011 pp. 23-44 Available from <http://www.intechopen.com/books/biodiesel-feedstocks-andprocessing->
- [18] K. Naima, A. Liazid, Waste oils as alternative fuel for diesel engine: A review, *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels* 4 (2013), pp. 30-43
- [20] M. Canakci, J. H. Van Gerpen, Comparison of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow grease biodiesel, and soybean oil biodiesel, *Transactions of the ASAE* 46 (2003) 937–944
- [21] W. J. Nagi, S. K. Ahmed, F. Nagi, Palm biodiesel an alternative green renewable energy for the energy demands of the future, ICCBT 2008 pp. 79-94 available from http://people.idsia.ch/~nagi/conferences/iccbt_palm_biodiesel.pdf
- [22] B. Tesfa. R. Mishra, F. Gu, A. D. Ball, Combustion characteristics of ci engine running with biodiesel blends, Intl. Conf. on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'11) Las Palmas de Gran Canaria (Spain), 13-15 April, 2011
- [23] S. Chuepeng, The Use of biodiesel in diesel engines, in G. Montero (Ed.), *Biodiesel – Quality, Emissions and By-Products*, In Tech, 2011, pp. 181 – 194 Available from: <http://www.intechopen.com/books/biodiesel-quality-emissions-and-by-products/the-use-of-biodiesel-in-diesel-engines>
- [24] Demirbas, Progress and recent trends in biodiesel fuels, *Energy Conversion and Management* 50 (2009) 14–34
- [19] A. K. Agarwal, J. G. Gupta, A. Dhar, Potential and challenges for large-scale application of biodiesel in automotive sector, *Progress in Energy and Combustion Science* 61 (2017) 113-149
- [26] W. B. Tesfa, F. Gu, R. Mishra, A. Ball, Emission characteristics of a CI engine running with a range of biodiesel feedstocks, *Energies* 7 (2014) 334-350
- [27] M. G. Kulkarni and A. K. Dalai, Waste Cooking oils - An economical source for Biodiesel: A review, *Ind. Eng. Chem. Res.* **2006**, 45, 2901-2913
- [28] J. Xue, T. E. Grift, A. C. Hansen, Effect of biodiesel on engine performances and emissions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 1098–1116.