STUDI KARAKTERISASI PENCAMPURAN BIODIESEL DENGAN MINYAK SOLAR

A Study of Characterization of Biodiesel Blending with Petroleum Diesel

SD Sumbogo Murti

Pusat Teknologi Sumberdaya Energi (PTPSE)

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Gedung 625 Kawasan PUSPIPTEK Serpong - Tangerang Selatan 15314

Email: sd.sumbogo@bppt.go.id

Diterima: 18 April 2017; Diperiksa: 10 Mei 2017; Revisi: 22 Mei 2017; Disetujui: 5 Juni 2017

Abstract

Biodiesel is an alternative fuel similar to conventional petroleum diesel. Biodiesel can be produced from straight vegetable oil, animal oil or fats, tallow and waste cooking oil. The physical properties of biodiesel are similar to those of petroleum diesel, but the fuel significantly reduces green house gas emission and toxic air pollutants. However, there are some disadvantages of biodiesel such as vulnerable to water contamination, lower energy content as well as having problems at low temperatures. Biodiesel can be blended and used in many different concentrations. The Government of Indonesia has launched a policy of biodiesel mix gradually to 30% in 2020. To ensure that policy implementation, a study of biodiesel blending with petroleum diesel. The biodiesel was made from Palm oil, Jatropha oil and Canola oil. The blending has been carried out with various compositions. Some thermophysical properties of the mixture have been investigated in accordance to ASTM standard. The measurement result of biodiesel blends fuel varies according to the mixture composition and origin of biodiesel. Generally, the properties of Palm oil and Canola oil biodiesel blend fuel can meet the standards that apply in Indonesia but biodiesel from Jatropha oil cannot meet the quality standards for oxidation stability. Antioxidant can be used to improve the oxidation stability of biodiesel and its mixture.

Keywords: *fuel properties, biodiesel blend, palm oil, jatropha oil, canola oil*

Abstrak

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang mirip dengan solar dari minyak bumi. Biodiesel dapat diproduksi dari minyak nabati langsung, minyak hewani atau lemak dan minyak goreng bekas. Sifat fisik biodiesel mirip dengan minyak bumi, tapi biodiesel secara signifikan mengurangi emisi gas rumah kaca dan polutan udara yang beracun. Namun, ada beberapa kekurangan biodiesel seperti rentan terhadap kontaminasi air, kandungan energi lebih rendah serta memiliki masalah pada suhu rendah. Biodiesel dapat dicampur dan digunakan dalam berbagai konsentrasi. Pemerintah Indonesia telah meluncurkan kebijakan campuran biodiesel secara bertahap sampai 30% pada tahun 2020. Untuk memastikan pelaksanaan kebijakan tersebut, sebuah studi tentang pencampuran biodiesel dengan minyak bumi telah dilakukan. Biodiesel dibuat dari minyak kelapa sawit, minyak jarak pagar dan minyak canola. Pencampuran dilakukan dengan berbagai komposisi. Beberapa sifat termofisik dari campuran telah diteliti sesuai dengan standar ASTM. Hasil pengukuran campuran bahan bakar biodiesel bervariasi sesuai dengan komposisi campuran dan asal biodiesel. Umumnya, sifat biodiesel campuran dari minyak kelapa sawit dan minyak Canola dapat memenuhi standar yang berlaku di Indonesia. Di sisi lain biodiesel dari minyak jarak tidak dapat memenuhi standar kualitas stabilitas oksidasi.

Kata kunci: sifat bahan bakar, campuran biodiesel, minyak sawit, minyak jarak, minyak canola

1. PENDAHULUAN

Indonesia mulai menerapkan kebijakan B20 pada awal tahun 2016 untuk sektor transportasi dan industri, sementara sektor pembangkit listrik diwajibkan untuk mencampur 30 persen biodiesel (B30) pada saat bersamaan. Akibatnya, Indonesia mampu mengonsumsi 2,7 juta kiloliter biodiesel

sepanjang tahun, 91 persennya dicampur dengan bahan bakar solar bersubsidi dan sisanya dicampur dengan bahan bakar non-subsidi (BPPT, 2015). Sebagai bagian dari kebijakan energi, pemanfaatan biofuel (biodiesel) terus ditingkatkan secara kualitas dan jumlahnya (Dadan Kusdiana, 2014). Biodiesel dapat diproduksi dari berbagai

macam bahan baku diantaranya Kelapa sawit (Leyvison Rafael V., *et.al.*, 2016), canola (Obie Farobie, *et.al.*, 2014), *Jatropha* (Joana Rodrigues, *et.al.*, 2016), maupun alga (Kamoru A. Salam, *et.al.*, 2016). Masing masing produk biodiesel mempunyai karakteristik tersendiri sesuai dengan bahan baku maupun prosesnya (Vanessa F. de Almeida, *et.al.*, 2015). Pemakaian biodiesel untuk bahan bakar kendaraan bermotor di Indonesia langsung dicampur dengan minyak solar yang dijual oleh PT Pertamina dengan nama produk biosolar. Saat ini kandungan biodiesel dalam biosolar yang dijual oleh Pertamina sebesar 20% sesuai dengan mandatori BBM yang dituangkan dalam Permen ESDM No 25 tahun 2013 untuk percepatan dan peningkatan mandatori pemanfaatan BBN. Prosentasi biodiesel dalam biosolar untuk transportasi terus meningkat, dari 10 % tahun tahun 2013 menjadi 25% pada tahun 2025.

Untuk memenuhi target pemerintah pada tahun 2025 yaitu pemakaian 25% biodiesel pada biosolar, maka kualitas biodiesel harus memenuhi standar dan mutu (spesifikasi) BBN jenis Biodiesel yang dipasarkan di dalam negeri sebagaimana telah diatur dalam Keputusan Direktur Jenderal EBTKE No. 723K/10/DJE/2013 yang disusun berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2012 tentang Biodiesel.

Biodiesel telah dipakai di banyak negara karena mempunyai banyak kelebihan diantaranya bisa meningkatkan efisiensi pembakaran mengurangi emisi karbon monoksida (CO) (B.K. Barnwal, M.P. Sharma, 2005), tidak mengandung sulfur atau senyawa aromatik dengan demikian memberikan kontribusi terhadap penurunan tingkat emisi mesin diesel knalpot (S. Kalligeros, *et.al.*, 2003) meningkatkan cetane number, sehingga dapat memperpendek ignition delay (R.O. Dunn, 2005). Campuran bahan bakar biodiesel-diesel atau bahkan biodiesel murni dapat digunakan di mesin diesel dengan sedikit modifikasi (J.V. Gerpen, 2005), bahkan biodiesel dapat meningkatkan pelumasan, sehingga bisa meningkatkan umur komponen mesin (E. Alptekin, M. Canakci, 2008). Namun demikian, biodiesel juga mempunyai beberapa kelemahan yaitu energi yang nilai kalor dan volatilitas yang lebih rendah serta viskositas yang lebih tinggi jika dibanding minyak solar (M.S. Shehata, 2013 ; J.P. Szybist, *et.al.*, 2005).

Ester lemak (*fatty ester*) penyusun biodiesel dapat menentukan keseluruhan sifat bahan bakar biodiesel tersebut, yang sangat dipengaruhi oleh struktur asam lemak dan gugus alkohol penyusunnya. Selain itu sifat fisik bahan bakar molekul ester lemak dipengaruhi oleh panjang rantai, derajat ketidakjenuhan dan percabangan rantai. Sedangkan sifat bahan bakar biodiesel yang dipengaruhi oleh profil asam lemak dan faktor struktural berbagai ester lemak meliputi kualitas *ignition*, panas pembakaran, *cold flow*, stabilitas oksidasi, emisi gas buang, viskositas dan lubrisitas (Refaat AA. 2009).

Biodiesel dapat tercampur sempurna dengan minyak solar dari minyak bumi dan pencampuran

dalam berbagai komposisi sangat dimungkinkan untuk meningkatkan kualitas bahan bakar. Tetapi perbedaan kimiawi biodiesel solar dapat menyebabkan perbedaan sifat fisika-kimia yang akan mempengaruhi kinerja mesin dan emisi polutan (MB Dantas, *et.al.*, 2011).

Untuk meningkatkan kualitas campuran biodiesel dengan minyak solar, beberapa peneliti dari luar negeri juga telah melakukan penelitian dengan mencampur biodiesel dari bahan baku yang berbeda dengan minyak solar. Yusuf dan Khan telah mencampur biodiesel dari biji karet/sawit (Yusup, S., Khan, M., 2010), sedangkan Alptekin dan Canakci telah mencampur minyak solar dengan biodiesel dengan bahan baku biji bunga matahari, canola, kedelai, biji kapas, jagung dan limbah sawit (Alptekin, E., Canakci, M., 2008). Teixeira dkk melakukan penelitian tentang pencampuran biodiesel dari beef tallow/minyak kedelai (Teixeira, L.S.G., *et.al.*, 2010), Sementara Sarin dkk, mencampurnya dengan sawit/jarak pagar dan pongamia (Sarin, A., *et.al.*, 2009).

Pedro Benjumea berhasil menemukan formula bahwa dalam pencampuran biodiesel dan disel minyak bumi berlaku persamaan Arrhenius yang melibatkan fraksi volume dan karakteristik campuran (Benjumea P, *et.al.*, 2008). Sementara itu untuk menentukan sifat campuran yang juga bersifat aditif antara sifat biodiesel dan solar minyak bumi adalah sebagai berikut :

$$\text{Sifat campuran} = (\% \text{vol. biodiesel} \times \text{sifat biodiesel}) + (\% \text{vol. disel} \times \text{sifat disel})$$

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi sifat bahan bakar campuran biodiesel dari minyak kelapa sawit, minyak jarak dan minyak kanola dengan solar minyak bumi untuk memastikan bahwa sifat bahan bakar campuran tersebut memenuhi standar persyaratan yang berlaku di Indonesia. Hal ini dilakukan dalam rangka mendukung kebijakan pemerintah untuk meningkatkan target penggunaan biodiesel untuk transportasi dan industri dari 20% menjadi 25% pada tahun 2025. Dari penelitian ini diharapkan bahwa semua minyak tersebut dapat memenuhi standar spesifikasi bahan bakar yang berlaku.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan

Biodiesel yang dipakai pada penelitian ini berasal dari minyak canola dan minyak kelapa sawit, dan minyak jarak, sedangkan solar yang dipakai adalah minyak solar komersial. Pembuatan biodiesel dilakukan melalui proses transesterifikasi menggunakan metanol dan kalium hidroksida (KOH) sebagai katalis. Sebanyak 6,68g KOH dilarutkan ke dalam 50g metanol dan kemudian di campur dengan 400g minyak nabati yang digunakan. Campuran kemudian dipanaskan pada suhu 50°C selama 2 jam. Gliserol yang terbentuk

dihilangkan melalui pemisahan gravitasi, sedangkan metanol dihilangkan dengan *rotary evaporator* yang dilakukan setelah campuran dingin pada suhu ruang. FAME dicuci dengan air sampai tercapai pH netral menghasilkan metil ester.

Pencampuran biodiesel dengan minyak solar dilakukan dengan komposisi biodiesel 0 – 100 % volume. Tabel 1 menunjukkan daftar sampel hasil pencampuran biodiesel dengan solar minyak bumi. Campuran biodiesel dengan minyak solar diaduk selama 30 menit untuk memastikan kedua minyak bercampur sempurna dan homogen.

Tabel 1. Daftar sampel campuran biodiesel dan solar

% Biodiesel	Minyak Sawit	Minyak Canola	Minyak Jarak
0	MS B0	MK B0	MJ B0
10	MS B10	MK B10	MJ B10
15	MS B15	MK B15	MJ B15
20	MS B20	MK B20	MJ B20
25	MS B25	MK B25	MJ B25
30	MS B30	MK B30	MJ B30
40	MS B40	MK B40	MJ B40
100	MS B100	MK B100	MJ B100

2.2. Analisa Densitas

Densitas merupakan parameter biodiesel yang penting, yang berdampak pada kualitas bahan bakar. Densitas biodiesel dan campurannya dalam penelitian ini diukur dengan menggunakan alat Aton Paar DMA 4100 pada suhu 15°C sesuai dengan ASTM D-941. Metode uji ini mencakup pengukuran densitas bahan hidrokarbon yang dapat ditangani dengan cara biasa sebagai cairan pada suhu uji yang ditentukan 20 sampai 25°C. Aplikasinya dibatasi pada cairan yang memiliki tekanan uap kurang dari 80 kPa (600 mmHg) dan memiliki viskositas kurang dari 15 mm² / s (cst) pada suhu 20°C.

2.3. Analisa Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik biodiesel dan bahan bakar campurannya diukur dengan menggunakan *water-bath* (VB-X6 Yoshida Kagaku Kikai Co. Japan) pada suhu 40°C. Ini mengacu pada ISO 4104: 1996 dan ASTM D-445 untuk viskositas kinetik. Pengukuran dilakukan dengan metode duplo. Metode uji ini menentukan suatu prosedur pengukuran viskositas kinematik dengan mengukur waktu untuk volume cairan yang mengalir berdasar gravitasi melalui viskometer kapiler gelas yang dikalibrasi.

2.4. Stabilitas Oksidasi

Stabilitas oksidasi diukur dengan Petro Test. Metode PetroOXY dikembangkan dari Metode Bom ISO 7536 - ASTM D 525 - IP 40. Metode ini mendeteksi hasilnya secara langsung dari

penurunan tekanan proses oksidasi, yang dipercepat oleh tekanan panas dan oksigen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memastikan bahwa bahan bakar dari campuran tersebut memenuhi standar spesifikasi bahan bakar diesel / solar yang berlaku, maka karakteristik campuran biodiesel – solar harus diketahui dengan pasti. Tabel 2 menunjukkan Spesifikasi Biodiesel Indonesia menurut Standar Nasional Indonesia (SNI untuk biodiesel, sedangkan Tabel 3 menunjukkan karakteristik biodiesel awal dari minyak kelapa sawit, minyak kanola dan minyak jarak serta solar minyak bumi yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Spesifikasi biodiesel Indonesia

Karakteristik	Biodiesel	Metode Pengujian
Densitas pada 40 oC (kg/m ³)	850 – 890	ASTM D-1298/D-4052
Viskositas kinematik pada 40 oC (cSt)	2.3 - 6.0	ASTM D-445
Angka Setana (Min)	51	ASTM D-613/D 6890
Titik nyala (<i>cloce cup</i>) (oC,min)	100	ASTM D-93
Titik kabut (oC, maks)	18	ASTM D-2500
Korosi lempeng tembaga	No.1	ASTM D-130
Residu karbon (% massa, maks)	0.05	ASTM D-4530
Air dan sedimen (%vol, maks)	0.05	ASTM D-2709
Temperatur destilasi 90% (oC,maks)	360	ASTM D-1160
Abu tersulfatkan (%massa, maks)	0.02	ASTM D-874
Sulfur (mg/kg, maks)	100	ASTM D-5454/D-1266/D-4294
Fosfor (mg/kg,maks)	10	
Angka asam (mg-KOH,maks)	0.6	ASTM D-664
Gliserol bebas (%massa,maks)	0.02	ASTM D-6584
Gliserol total (%massa, maks)	0.24	ASTM D-6584
Kadar Methyl Ester (%massa,min)	96.5	
Angka iodium (%massa)	115	
Stabilitas oksidasi (rancimate)	360	EN 15751
(Menit,min)		
Stabilitas oksidasi (petro-oksi)	27	ASTM D-7545
(Menit,min)		

Sumber : SNI 7182:2012

Dari Tabel 2, terlihat bahwa densitas minyak biodiesel murni (B100) lebih tinggi dibanding dengan solar dari minyak bumi. Begitu juga nilai untuk viskositas kinematik yang jauh lebih tinggi dibanding minyak solar. Sementara itu Stabilitas oksidasinya sangat rendah. Untuk itulah dalam pemakaiannya biodiesel ini harus dicampur dengan solar pada komposisi tertentu agar bisa memenuhi standar biodiesel yang telah ditetapkan.

Tabel 3. Karakteristik biodiesel dan solar yang dipakai dalam penelitian

Karakteristik	Minyak Sawit	Minyak Kanola	Minyak Jarak	Solar
Densitas (g/cm ³)	0,8771	0,8884	0,8847	0,8333
Viskositas Kinematik (cst)	5,30	5,21	5,21	3,07
Stabilitas Oksidasi (min)	46	33	14	104

3.1. Densitas

Densitas merupakan sifat penting bahan bakar yang mempengaruhi kinerja bahan bakar tersebut dalam kualitas atomisasi dan pembakaran. Densitas biodiesel pada umumnya lebih tinggi daripada solar dan dipengaruhi oleh komposisi asam lemak dan kemurniannya. Densitas bisa digunakan sebagai indikator adanya kontaminasi, karena kontaminasi dalam biodiesel berpengaruh pada densitas secara signifikan. Menurut Mert Gulum dan Atilla Bilgin 2015 (Mert Gulum and Atilla Bilgin, 2015), densitas sangat mempengaruhi angka setana dan nilai kalor bahan bakar.

Gambar 1. Profil densitas campuran biodiesel dan solar

Gambar 1 menunjukkan bahwa densitas campuran biodiesel dan solar pada berbagai komposisi masih berada di dalam spesifikasi standar densitas solar Indonesia (0,815 – 0,860). Semakin besar komposisi biodiesel, semakin tinggi pula densitas campuran. Hal ini disebabkan oleh densitas awal biodiesel yang lebih besar daripada densitas solar minyak bumi.

3.2. Kinematik Viscosity

Viskositas kinematik adalah salah satu parameter biodiesel yang harus diketahui sebelum diimplementasikan pada kendaraan. Hal ini penting karena biodiesel biasanya mempunyai viskositas yang lebih tinggi dibanding minyak solar. Viskositas dapat dinyatakan sebagai tahanan aliran fluida yang merupakan gesekan antara molekul – molekul cairan satu dengan yang lain. Suatu jenis cairan yang mudah mengalir dapat dikatakan memiliki viskositas yang rendah, dan sebaliknya bahan – bahan yang sulit mengalir dikatakan memiliki viskositas yang tinggi. Viskositas biodiesel biasanya lebih rendah dari viskositas minyak asal nya. Sehingga menyebabkan atomisasi yang lebih baik dari bahan bakar tersebut di ruang bakar mesin. Gambar 2 menunjukkan hasil pengukuran viskositas kinematik dari campuran biodiesel dengan solar. Standar Biodiesel Indonesia memberikan batasan bahwa kinematik viscosity bio solar adalah 2.3 - 6.0 mm²/s (cSt) menurut ASTM D- 445. Diantara biodiesel murni yang diukur (B100), Sawit memiliki viskositas tertinggi yaitu sebesar 5.30 mm²/s. Sementara untuk Kanola dan Jarak memiliki KV yang sama yaitu sebesar 5.21 mm²/s. Campuran solar-biodiesel secara biner menunjukkan angka dalam rentang yang diizinkan untuk semua persentase. Hal ini mengindikasikan bahwa pencampuran biodiesel dari berbagai macam bahan baku (sawit, kanola dan jarak) bisa memenuhi standar nasional yang berlaku di Indonesia untuk viskositas kinematiknya.

Nilai viskositas dapat diturunkan dengan cara menurunkan komposisi pencampuran biodiesel dan menaikkan temperatur.

Gambar 2. Profil viskositas kinematik campuran biodiesel dan solar

3.3. Stabilitas Oksidasi

Oksidasi bahan bakar minyak dapat menghasilkan endapan berupa lumpur yang dapat merusak sistem injeksi bahan bakar modern dengan menyumbat filter.

Stabilitas oksidasi biodiesel lebih rendah daripada solar minyak bumi karena lipida bisa mengalami proses autooksidasi yang terjadi secara biologi maupun kimiawi. Oksidasi biodiesel menyebabkan perubahan sifat seperti kenaikan bilangan asam, bilangan peroksida dan viskositas. Evaluasi stabilitas oksidasi sangat diperlukan terutama untuk menentukan metode penyimpanan. Berdasarkan bahan bakunya, semakin tinggi tingkat ketidakjenuhan, semakin besar kecenderungan untuk mengalami oksidasi. Menurut Pinzi (Pinzi S, *et.al.*, 2009), tingkat oksidasi biodiesel lebih dipengaruhi oleh komposisi alkil ester daripada lingkungan. Stabilitas oksidasi campuran biodiesel, baik dari minyak sawit, jarak maupun kanola semakin rendah dengan bertambahnya persentase biodiesel, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3. Biodiesel minyak jarak memiliki stabilitas paling rendah yaitu 14 menit dan campurannya pun tidak memenuhi standar

spesifikasi biodisel (27 menit). Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan asam tidak jenuh yaitu asam linoleat dan linolenat dalam minyak jarak (Silitonga, *et.al.*, 2013). Hal ini bisa diatasi dengan penambahan antioksidan untuk meningkatkan stabilitas oksidasi campuran.

Gambar 3. Profil stabilitas oksidasi campuran biodisel dan solar

4. KESIMPULAN

Karakteristik campuran bahan bakar diesel bersifat aditif antara sifat biodisel dan solar sesuai fraksi volume campuran yang digunakan. Dari studi ini terlihat bahwa campuran solar dan biodisel dari minyak sawit dan minyak kanola pada berbagai komposisi memenuhi standar spesifikasi bahan bakar biodisel di Indonesia, sehingga dapat dipakai sebagai bahan bakar masa depan yang ramah lingkungan dan terbarukan. Namun untuk minyak jarak tidak memenuhi persyaratan untuk stabilitas oksidasinya. Hal ini perlu perlakuan khusus untuk bisa dipakai sebagai bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- A.S. Silitonga, H.H. Masjuki, T.M.I. Mahlia, H.C.Ong, W.T.Chong, M.H.Boosroh, (2013). *Overview properties of biodiesel diesel blends from edible and non-edible feedstock*, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 22 : 346-360.
- Alptekin, E., Canakci, M., (2008). *Determination of the density and the viscosities of biodiesel–diesel fuel blends*, Renew Energy, 33, 2623–2630.
- B.K. Barnwal, M.P. Sharma, (2005). *Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India*, Renew. Sust. Energ. Rev. 9 (4) 363–378.
- Benjumea P, Agudelo J, Agudelo A., (2008). *Basic properties of palm oil biodiesel–diesel blends*, Fuel. 2008; 87 : 2069-2075.
- BPPT, (2015). Outlook Energi Indonesia.
- Dadan Kusdiana, (2014). *Kebijakan dan implementasi mandatori pemanfaatan bahan bakar nabati biodiesel*, disampaikan pada “Sosialisasi Biosolar kepada Pati/Pamen di Lingkungan TNIAL, Jakarta 19 Mei 2014
- E. Alptekin, M. Canakci, (2008). *Determination of the density and the viscosities of biodiesel–diesel fuel blends*, Renew. Energy 33 (12), 2623–2630.
- J.P. Szybist, A.L. Boehman, J.D. Taylor, R.L. McCormick, (2005). *Evaluation of formulation strategies to eliminate the biodiesel NO effect*, Fuel Process. Technol. 86 (10), 1109–1126.
- J.V. Gerpen, (2005). *Biodiesel processing and production*, Fuel Process. Technol. 86 (10) 1097–1107.
- Joana Rodrigues, Véronique Perrier, Jérôme Lecomte, Eric Dubreucq, Suzana Ferreira-Dias, (2016). *Biodiesel production from crude jatropha oil catalyzed by immobilized lipase/acyltransferase from Candida parapsilosis in aqueous medium*, Bioresource Technology, Volume 218, Pages 1224-1229
- Kamoru A. Salam, Sharon B. Velasquez-Orta, Adam P. Harvey, (2016). *A sustainable integrated in situ transesterification of microalgae for biodiesel production and associated co-product-a review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 65, Pages 1179-119
- Leyvison Rafael V. da Conceição, Livia M. Carneiro, J. Daniel Rivaldi, Heizir F. de Castro, (2016). *Solid acid as catalyst for biodiesel production via simultaneous esterification and transesterification of macaw palm oil*, Industrial Crops and Products, Volume 89, Pages 416-424
- M.S. Shehata, (2013). *Emissions, performance and cylinder pressure of diesel engine fuelled by biodiesel fuel*, Fuel 112, 513–522.
- MB Dantas, AR Albuquerque, LEB Soledade, N Queiroz, ASI Maia, Santos MGAL, (2011). *Biodiesel from soybean oil, jatropha oil and their blends oxidative stability by PDSC and rancimat*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2011 : 106607-106611.
- Mert Gulum and Atilla Bilgin, (2015). *Density, flash point and heating value variations of corn oil biodiesel–diesel fuel blends*, Fuel Processing Technology. 2015;134 : 456-464.
- Obie Farobie, Takashi Yanagida, Yukihiko Matsumura, (2014). *New approach of catalyst-free biodiesel production from canola oil in supercritical tert-butyl methyl ether (MTBE)*, Fuel, Volume 135, Pages 172-181
- Pinzi S, Garcia IL, Lopez-Gimenez FJ, Luque de Castro MD, Dorado G, Dorado MP, (2009). *The ideal vegetable oil-based biodiesel composition : A review of social, economical and technical implications*, Energy Fuels. 23: 2325
- R.O. Dunn, (2005). *Effect of antioxidants on the oxidative stability of methyl soyate (biodiesel)*, Fuel Process. Technol. 86 (10) 1071–1085.
- Refaat AA. (2009). *Correlation between the chemical structure of biodiesel and its physical properties*, Int. J. Environ. Sci. Tech., 6(4), 677-694
- S. Kalligeros, F. Zannikos, S. Stournas, E. Lois, G. Anastopoulos, C. Teas, F.Sakellaropoulos, (2003). *An investigation of using biodiesel/marine diesel blends on the performance of a stationary diesel engine*, Biomass Bioenergy 24 (2) 141–149.
- Sarin, A., Arora, R., Singh, N.P., Sarin, R., Malhotra, R.K., Kundu, K., (2009). *Effect of blends of palm-jatropha-pongamia biodiesels on cloud point and pour point*, Energy, 34, 2016–2021.
- Teixeira, L.S.G., Couto, M.B., Souza, G.S., Filho, M.A., Assis, J.C.R., Guimaraes, P.R.B., Pontes, L.A.M., Almeida, S.Q., Teixeira, J.S.R., (2010). *Characterization of beef tallow biodiesel and their mixtures with soybean biodiesel and mineral diesel fuel*, Biomass Bioenergy, 34, 438–441.
- Vanessa F. de Almeida, Pedro J. Garcia-Moreno, Antonio Guadix, Emilia M. Guadix, (2015). *Biodiesel production from mixtures of waste fish oil, palm oil and waste frying oil: Optimization of fuel properties*, Fuel Processing Technology, Volume 133, May 2015, Pages 152-160,

S. Madiwale, V. Bhojwani, 2016, *An Overview on Production, Properties, Performance and Emission Analysis of Blends of Biodiesel*, Procedia Technology, Volume 25, Pages 963-973)

Yusup, S., Khan, M., (2010). *Basic properties of crude rubber seed oil and crude palm oil blend as a potential feedstock for biodiesel production with enhanced cold flow characteristics*. Biomass Bioenergy, 34, 1523–1526.