

Optimasi Kecepatan Pengadukan pada Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas Linneaus*)

Nirwana¹, Irdoni HS, Drik FZ

Laboratorium Teknologi Bahan Alam dan Mineral
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya KM 12.5 Panam – Pekanbaru
Telp./Fax. 0761-566937
Email: nirwana.hamzah@yahoo.com

Abstract

This research is about the effect of mixing velocity to produce biodiesel from jarak pagar oil (*Jatropha Curcas Linneaus*). This research have conducted at Technological Laboratory of Natural Materials and Mineral of Chemical Engineering of Riau University. The research focusing know to learn effect of mixing velocity to produce biodiesel from jarak pagar oil using commercial K_2CO_3 catalyst which was blazed in a temperature of 600 °C. The biodiesel production conducted through two phases process i.e. esterification and transesterification with the mixing velocity 100 rpm, 150 rpm, and 200 rpm during 1 hour for each mixing. The biodiesel characteristic is analyzed methods to Erliza Hambali, and friends; Gubitz, et al; Haas and Mittelbach; and Azam, et al. The research results shows that the yielding biodiesel meet to the characteristic quality standard of biodiesel. The best mixing velocity is about 150 rpm with density 0.875 g/cm³, viscosity 0,11 cSt, level of water 0.025% b/b, acid number 0.78 mg KOH/g oil, level of free fat acid (FFA) 0.39%, lathering number 195.44 g KOH/g oil, iod number 87.71 g I₂/100 g oil and cetane number 54.49.

Key words: Biodiesel, esterification, jarak pagar, mixing velocity, transesterification

1. Pendahuluan

Ketersediaan bahan bakar minyak yang berasal dari minyak bumi semakin hari semakin menipis, sedangkan kebutuhan akan bahan bakar terus meningkat yang bisa dilihat dari kegiatan pekerjaan yang memerlukan bahan bakar, seperti dari keperluan rumah tangga, transportasi, mesin pabrik, mesin-mesin traktor, hingga ke pembangkit listrik, menyandarkannya kepada bahan bakar minyak tersebut (BATAN, 2006).

Upaya penghematan serta upaya pengalihan bahan bakar dari bahan yang berasal dari minyak bumi menjadi sumber energi yang dapat diperbaharui, salah satunya bahan baku yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar pengganti minyak bumi adalah tanaman jarak pagar yang dapat menghasilkan minyak yaitu dari bijinya. Pemanfaatan minyak jarak pagar (*Jatropha curcas Linneaus*) sebagai bahan biodiesel merupakan alternatif yang ideal untuk mengurangi tekanan permintaan bahan bakar minyak dan penghematan penggunaan cadangan devisa. Hal ini disebabkan karena minyak jarak pagar

selain merupakan sumber minyak terbaru (*renewable fuels*) juga termasuk *non edible oil* sehingga tidak bersaing dengan kebutuhan minyak untuk konsumsi manusia seperti pada minyak kelapa sawit dan minyak jagung. Dengan demikian, produksi minyak jarak pagar tidak akan mengganggu penyediaan kebutuhan minyak makan nasional, kebutuhan oleokimia dan ekspor CPO, disamping itu juga biodiesel yang dihasilkan dari minyak jarak pagar bersifat ramah terhadap lingkungan, mampu mengeliminasi emisi gas buang dan mengurangi efek rumah kaca (Susilo, 2006).

Di Indonesia telah dilakukan berbagai penelitian mengenai bahan bakar alternatif terutama biodiesel. Hambali dkk (2006) telah melakukan metanolisis minyak jarak pagar skala laboratorium dengan menggunakan katalis basa NaOH dan KOH pada rentang suhu 55 – 60 °C, kecepatan pengadukan 150 - 200 rpm, rasio minyak terhadap metanol 10 : 1 dengan konsentrasi katalis 1% (terhadap minyak jarak pagar). Hanum (2009) juga telah melakukan metanolisis minyak Picung/Pangi dengan menggunakan katalis asam H₂SO₄ sebanyak 1% dari berat

minyak dengan rasio mol metanol dan minyak 20:1, dipanaskan pada suhu 60 °C selama 1 jam. Kemudian hasilnya dilakukan transesterifikasi dengan mereaksikan terhadap metanol dengan menggunakan katalis K_2CO_3 sejumlah 1% dari berat minyak dengan rasio metanol dan minyak 6:1, dipanaskan pada suhu 60 °C dengan pengadukan 150 rpm selama 1 jam. Nirwana (2009) juga telah melakukan metanolisis minyak jarak pagar dengan menggunakan katalis abu tandan sawit yang divariasikan 5%, 10%, 15%, 20% dengan rasio metanol dan minyak 6:1, dipanaskan pada suhu 60 °C dengan pengadukan 150 rpm.

Metil ester (biodiesel) dari minyak jarak pagar dapat dihasilkan melalui proses transesterifikasi trigliserida dari minyak jarak pagar dengan menggunakan katalis K_2CO_3 yang dipijarkan dan metanol. Faktor yang mempengaruhi rendemen ester yang dihasilkan pada reaksi transesterifikasi adalah rasio molar antara trigliserida dan alkohol, jenis katalis yang digunakan, suhu reaksi, waktu reaksi, kandungan air, kandungan asam lemak bebas pada bahan baku, dan kecepatan pengadukan.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan biodiesel secara transesterifikasi dengan menggunakan katalis K_2CO_3 yang dipijarkan dengan melakukan variasi pengadukan (150, 200, dan 250 rpm).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan produksi biodiesel dari minyak jarak pagar dengan menggunakan katalis K_2CO_3 komersial.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan dan Alat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Alam dan Mineral Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik pada bulan Juli 2008. Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini, adalah : heksana (C_6H_6), aquades, K_2CO_3 pijar, CH_3OH , $Na_2S_2O_3$, $KMnO_4/H_2O$, phenolphtalein, $H_2C_2O_4$, $K_2Cr_2O_7$, HCl, NaCl, KOH, $NaBO_3$, KI, indikator metil merah, indikator brom kresol green, pereaksi Wijs, dan kloroform.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, yakni : piknometer, erlenmeyer, gelas ukur, gelas piala, labu pisah, corong, corong pisah, pipet tetes, cawan petri, timbangan, labu leher satu, labu leher empat, desikator, oven, dan seperangkat alat sokletasi.

2.2. Metode Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas Linneaus*)

Ke dalam labu leher empat dimasukkan minyak jarak pagar sebanyak 250 ml (223,75 gram). Katalis asam H_2SO_4 sebanyak 1% dari berat minyak dilarutkan dalam metanol (rasio mol metanol : minyak = 20:1). Minyak biji jarak pagar dicampur dengan katalis-metanol ke dalam labu leher empat, kemudian dipanaskan pada suhu 60 °C selama 1 jam. Setelah 1 jam, hasil esterifikasi tersebut dimasukkan ke dalam labu pisah untuk memisahkan hasil samping yang terbentuk. Hasil proses esterifikasi dimasukkan kembali ke dalam labu leher empat. Katalis K_2CO_3 sebelumnya dipijarkan dengan suhu 600 °C kemudian didinginkan

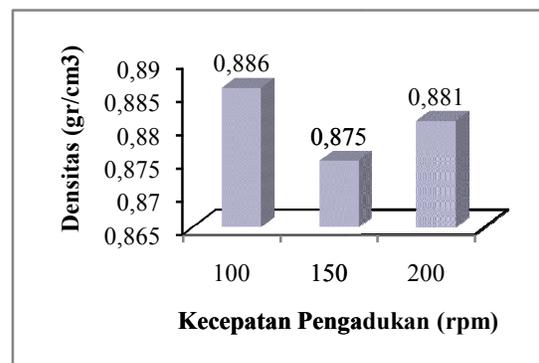
dalam desikator. Pada bejana yang lain (labu pisah) dimasukkan katalis K_2CO_3 dengan jumlah tertentu (1% berat minyak) ditambahkan dengan metanol (metanol : minyak = 6 : 1). Minyak biji jarak pagar dicampur dengan katalis-metanol ke dalam labu leher empat, kemudian dipanaskan pada suhu 60 °C dengan variasi pengadukan (150, 200 dan 250 rpm). Metil ester (biodiesel) yang diperoleh dapat dipisahkan dari gliserol yang terbentuk setelah didiamkan selama 24 jam dengan cara memasukkan semua campuran ke dalam labu pisah. Biodiesel kasar yang sudah dipisahkan ditambah dengan HCl 4N dan dicuci dengan NaCl 5%, kemudian dilakukan dengan dekantasi. Biodiesel yang terbentuk dicampur dengan $CaCl_2$.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar

Densitas

Parameter seperti densitas minyak atau metil ester (biodiesel) dipengaruhi panjang rantai asam lemak, ketidakteraturan, dan temperatur lingkungan (Formo, 1979). Seperti halnya viskositas, semakin panjang rantai asam lemak, maka densitas akan semakin meningkat. Ketidakteraturan juga mempengaruhi densitas, dimana semakin banyak jumlah ikatan rangkap yang terdapat dalam produk akan terjadi penurunan densitas. Biodiesel harus stabil pada suhu rendah. Semakin rendah suhu, maka densitas biodiesel akan semakin tinggi dan begitu juga sebaliknya. Hasil uji densitas dapat dilihat pada Gambar 1.



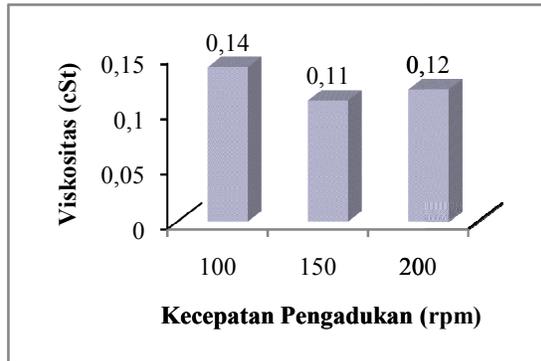
Gambar 1. Hasil Uji Densitas dengan Perbedaan Kecepatan Pengadukan

Gambar 1 menunjukkan bahwa densitas biodiesel yang dihasilkan dengan kecepatan pengadukan 150 rpm memenuhi standar mutu biodiesel. Hal ini disebabkan selama proses transesterifikasi, rantai-rantai asam lemak dalam minyak jarak pagar akan terpecah menjadi rantai metil ester yang lebih pendek sehingga densitas pun akan menurun seiring dengan penurunan berat molekul.

Viskositas

Viskositas yang tinggi adalah kelemahan pokok minyak nabati karena nilainya jauh lebih besar dari viskositas solar

sehingga akan menyulitkan pemompaan bahan bakar dari tangki ke ruang bakar mesin. Viskositas asam lemak lebih tinggi daripada metil esternya karena adanya ikatan hidrogen intermolekular dalam asam. Viskositas metil ester tidak jenuh akan menurun dengan adanya ketidakjenuhan, tetapi ikatan rangkap berturut-turut tidak terlalu berpengaruh terhadap fluiditas daripada ikatan rangkap tunggal dalam rantai asam lemak (Formo, 1979). Hasil uji viskositas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Uji Viskositas dengan Perbedaan Kecepatan Pengadukan

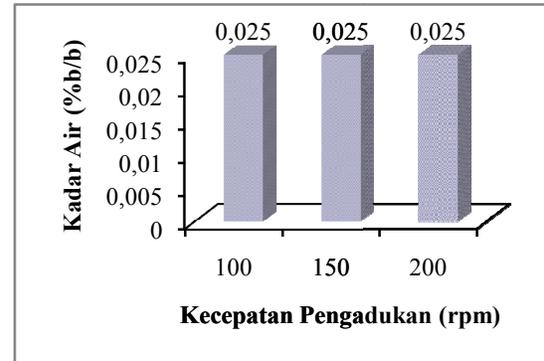
Sama halnya dengan densitas, biodiesel yang dihasilkan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, 150 rpm dan 200 rpm memenuhi standar mutu biodiesel. Dari ketiga kecepatan pengadukan dapat dilihat bahwa viskositas pada kecepatan pengadukan 150 rpm lebih rendah dari kecepatan pengadukan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pembuatan biodiesel dengan kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm mampu memisahkan gliserol yang lebih cepat dibandingkan kecepatan pengadukan lainnya.

Viskositas biodiesel dipengaruhi oleh panjang rantai dan komposisi asam lemak, posisi, dan jumlah ikatan rangkap (derajat ketidakjenuhan) dalam biodiesel serta jenis alkohol yang digunakan untuk proses transesterifikasi.

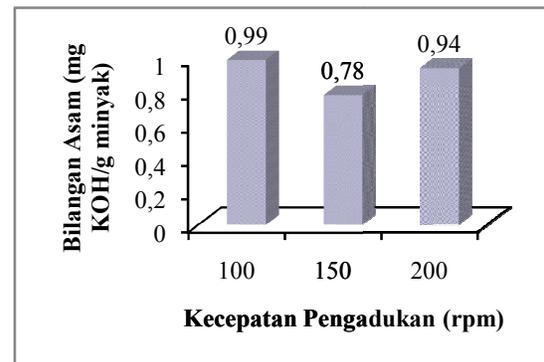
Kadar Air

Kadar air biodiesel mempengaruhi penyimpanan biodiesel dan juga proses pencampuran dengan solar karena sifatnya yang hidroskopis. Kadar air biodiesel yang tinggi dapat menyebabkan mikroba mudah tumbuh dan mengotori biodiesel, korosi pada mesin, dan pada suhu rendah menyebabkan pemisahan terhadap biodiesel murni. Hasil uji kadar air dapat dilihat pada Gambar 3.

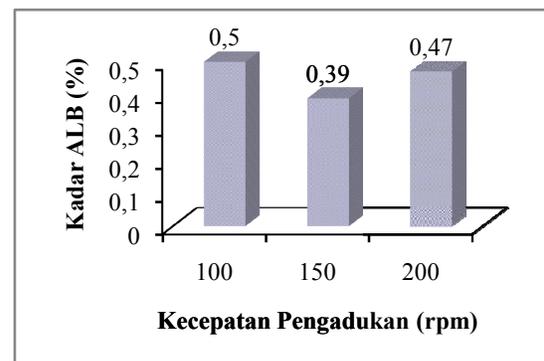
Gambar 3 menunjukkan bahwa hasil uji kadar air untuk ketiga kecepatan pengadukan adalah sama. Demikian juga minyak jarak pagar sebagai bahan baku pembuatan biodiesel memiliki kadar air yang sama dengan biodiesel yang dihasilkan, dengan kata lain persen kadar air dalam pembuatan biodiesel tidak berubah



Gambar 3. Hasil Uji Kadar Air dengan Perbedaan Kecepatan Pengadukan.



Gambar 4. Hasil Uji Bilangan Asam dengan Perbedaan Kecepatan Pengadukan



Gambar 5. Hasil Uji Kadar Asam Lemak Bebas (ALB) dengan Perbedaan Kecepatan Pengadukan

Bilangan Asam dan Kadar Asam Lemak Bebas (ALB)

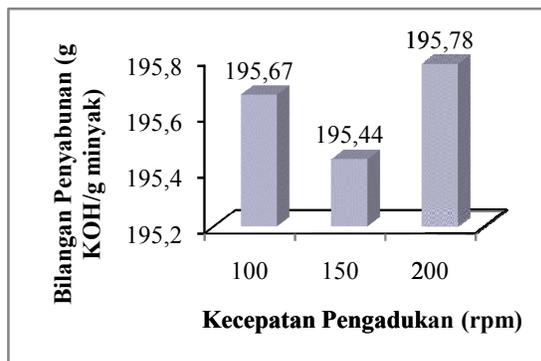
Bilangan asam dan kadar ALB menggambarkan jumlah asam lemak bebas dari sampel dalam basis yang berbeda. Bilangan asam adalah miligram KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan grup karboksil bebas dari satu gram sampel. Kadar ALB merupakan kandungan asam oleat yang terdapat pada sampel yang dinyatakan dalam persen (Sonntag, 1982). Asam lemak bebas pada minyak maupun metil ester akan meningkat dengan adanya proses hidrolisis yang dikatalisa asam, terutama produk yang memiliki

kadar air yang tinggi. Uji bilangan asam dan kadar asam lemak bebas (ALB) dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.

Gambar 4 dan 5 menunjukkan hanya kecepatan pengadukan 150 rpm yang memenuhi standar mutu biodiesel yaitu untuk bilangan asam 0,78 mg KOH/g minyak dan kadar ALB 0,39%. Nilai ini sesuai dengan standar mutu biodiesel yaitu sebesar maks 0,8 mg KOH/g minyak dan kadar ALB sebesar 0,45%. Hal ini dikarenakan pada proses transesterifikasi untuk kecepatan pengadukan 150 rpm telah mengalami konversi secara sempurna menjadi metil ester.

Bilangan Penyabunan

Bilangan penyabunan didefinisikan sebagai milligram KOH yang dibutuhkan untuk bereaksi sempurna dengan semua grup reaktif dalam satu gram sampel. Karena uji ini dilakukan dengan KOH-alkohol, dapat dikatakan bahwa KOH dikonsumsi tidak hanya untuk menyabunkan semua triglisrida, diglisrida, dan monoglisrida dalam sampel, tetapi juga untuk menetralkan asam lemak bebas dalam sampel (Sonntag, 1982). Bilangan penyabunan bergantung pada berat molekul dan persentase konsentrasi komponen asam lemak yang terdapat di dalam minyak atau biodiesel. Semakin rendah berat molekul, maka semakin tinggi bilangan penyabunan, juga sebaliknya. Hasil uji bilangan penyabunan dapat dilihat pada Gambar 6.



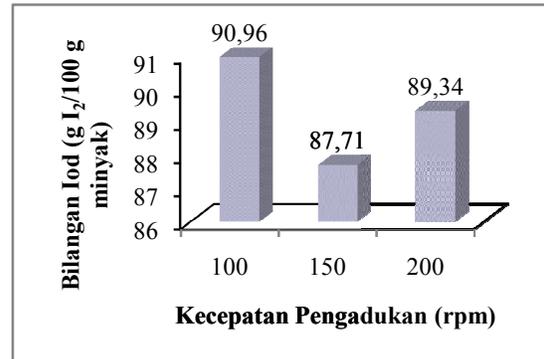
Gambar 6. Hasil Uji Bilangan Penyabunan dengan Perbedaan Kecepatan Pengadukan

Gambar 6 menunjukkan bahwa dari ketiga kecepatan pengadukan, 150 rpm memiliki bilangan penyabunan yang terendah yakni sebesar 195,44 g KOH/g minyak. Rendahnya bilangan penyabunan dikarenakan adanya kandungan senyawa intermediet yang tinggi dalam biodiesel dan pengaruh pengadukan selama proses transesterifikasi.

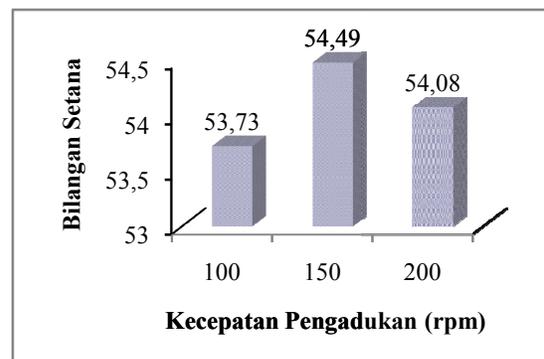
Bilangan Iod

Bilangan iod adalah ukuran dari jumlah ketidakjenuhan minyak atau lemak. Minyak dengan bilangan iod tinggi akan menghasilkan ester dengan daya aliran dan pepadatan pada suhu rendah. Bilangan iod biodiesel dipengaruhi faktor-faktor seperti persentase konsentrasi komponen asam lemak tidak jenuh, berat molekul masing-masing komponen tersebut, dan jumlah ikatan rangkap

didalamnya (Azam, et al., 2005). Metil ester asam lemak yang memiliki derajat ketidakjenuhan tinggi tidak cocok digunakan sebagai biodiesel karena molekul tidak jenuh akan bereaksi dengan oksigen dari atmosfer dan terkonversi menjadi peroksida. Akhirnya terjadi ikatan silang pada sisi tidak jenuh dan menyebabkan biodiesel terpolimerisasi, terutama jika suhu meningkat. Sebagai akibatnya terjadi deposit pada mesin diesel. Hasil uji bilangan iod dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Uji Bilangan Iod dengan Perbedaan Kecepatan Pengadukan.



Gambar 8. Hasil Uji Bilangan Setana dengan Perbedaan Kecepatan Pengadukan

Gambar 7 menunjukkan bahwa ketiga kecepatan pengadukan untuk bilangan iod memenuhi standar mutu biodiesel. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa ketiga hasil bilangan iod dengan kecepatan yang berbeda memiliki derajat ketidakjenuhan yang rendah yang cocok digunakan sebagai biodiesel.

Bilangan Setana

Angka setana adalah kemampuan bahan bakar untuk menyala dengan cepat setelah diinjeksi. Semakin tinggi nilainya, semakin baik kualitas pembakaran bahan bakar tersebut. Angka setana adalah salah satu parameter penting yang menentukan apakah suatu metil ester asam lemak dapat digunakan sebagai biodiesel atau tidak. Azam, et al. (2005) menyatakan bahwa angka setana merupakan ukuran yang dipakai untuk menyatakan kualitas pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar mesin. Angka setana

adalah fungsi dari banyaknya CH₂ dan CH₃ dalam komposisi bahan bakar (rasio CH₂ : CH₃). Semakin tinggi rasio antara keduanya, maka semakin tinggi angka setana biodiesel yang diperoleh. Hasil uji bilangan setana dapat dilihat pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan bahwa ketiga kecepatan pengadukan memberikan bilangan setana memenuhi standar mutu biodiesel yaitu minimal 51. Hasil bilangan setana yang diperoleh oleh Azam, et al. (2005) sebesar 54,31. Hal ini tidak jauh berbeda untuk hasil yang diperoleh pada kecepatan pengadukan 150 rpm yakni sebesar 54,49 dengan menggunakan perhitungan yang sama yang dilakukan oleh Azam, et al. (2005). Dengan demikian, untuk kecepatan pengadukan 150 rpm bilangan setananya sudah mendekati dengan hasil yang diperoleh oleh Azam, et al. (2005). Untuk itu, biodiesel pada kecepatan pengadukan 150 rpm yang diuji ke Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi (SBRC)-IPB dengan menggunakan metode ASTM D 613 dan diperoleh bilangan setana sebesar 54,4.

Berdasarkan seluruh hasil uji yang diperoleh dapat dilihat bahwa biodiesel yang dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi (reaksi reversibel) dengan kecepatan pengadukan 100 rpm menghasilkan metil ester yang sedikit. Hal ini disebabkan pembentukan gliserol dengan metil ester pada kecepatan 100 rpm reaksinya belum secara keseluruhan bergerak ke kanan atau konversinya belum maksimal.

Kecepatan pengadukan 150 rpm, pembentukan gliserol dengan metil ester lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan pengadukan lainnya. Hal ini disebabkan secara keseluruhan reaksi bergerak ke kanan atau terkonversi secara sempurna. Pengadukan yang cepat seperti halnya pada kecepatan pengadukan 200 rpm, menyebabkan reaksi bergerak ke kiri atau berbalik ke reaksi awal secara perlahan-lahan sehingga konversinya menjadi kecil. Dengan demikian, kecepatan 150 rpm merupakan kecepatan pengadukan yang optimum dalam pembuatan biodiesel dari minyak jarak pagar dengan menggunakan katalis K₂CO₃.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar

Parameter	Kec. Pengadukan (rpm)		
	100	150	200
Densitas (15 °C, g/cm ³)	0,886	0,875	0,881
Viskositas (cSt)	0,14	0,11	0,12
Kadar air (%b/b)	0,025	0,025	0,025
Bilangan asam (mg KOH/g minyak)	0,99	0,78	0,94
Kadar asam lemak bebas (%)	0,5	0,39	0,47
Bilangan penyabunan (g KOH/g minyak)	195,67	195,44	195,78
Bilangan Iod (g I ₂ /100 g minyak)	90,96	87,71	89,34
Bilangan Setana	53,73	54,49	54,08

4. Kesimpulan

Hasil penelitian tentang optimasi kecepatan pengadukan pada proses pembuatan biodiesel dari minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas Linneaus*) dapat disimpulkan bahwa biodiesel yang dihasilkan sesuai dengan standar mutu karakteristik biodiesel. Kecepatan pengadukan yang optimum yakni 150 rpm karena memenuhi seluruh karakteristik biodiesel yaitu densitas 0,875 g/cm³, viskositas 0,11 cSt, kadar air 0,025 %b/b, bilangan asam 0,78 mg KOH/g minyak, kadar asam lemak bebas (ALB) 0,39 %, bilangan penyabunan 195,44 g KOH/g minyak, bilangan iod 87,71 g I₂/100 g minyak dan bilangan setana 54,49

Daftar Pustaka

- Alamsyah, N.A. 2005. *Mengenal Lebih Dekat Biodiesel Jarak Pagar*. PT. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Azam, M. M., A. Warris, dan N. M. Nahar. 2005. *Prospects and Potential of Fatty Acid Metyl Esters of Some Non-Traditional Seed Oils of Use as Biodiesel in India*. Biomass and Bioenergy.
- BATAN. 2006. Membuat Minyak Bio-Diesel Dari Jarak Pagar (*Jatropha Curcas Linneaus*). <http://www.batan.go.id>. Diakses pada 21 Juli 2006.
- Formo, M. W. 1979. *Physical Properties of Fat and Fatty Acids Vol. 1, 4th Ed.* Di dalam *Baileys, Industrial Oil and Fat Products Vol. II, 4th Ed.* John Wiley and Sons. New York.
- Gubitz, G. M., M. Mittlebach, dan M. Trabi. 1999. *Exploitation of The Tropical Oil Seed Plant Jatropha Curcas L.* Bioresource Technology.
- Hambali, E., Suryani, Dadang, Hariyadi, H. Hanafie, I. K. Reksowardojo, M. Rivai, M. Ihsanur, P. Suryadarma, S. Tjitrosemito, T. H. Soerawadjaja, T. Prawitasari, T. Prakoso dan W. Purnama. 2006. *Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel*. Penerbar Swadaya. Jakarta.
- Haas, W. dan M. Mittelbach. 2000. *Detoxification Experiments with The Seed Oil from Jatropha Curcas L.* Industrial Corps and Products.
- Indartono, Y. S. 2006. Mengenal Biodiesel : Karakteristik, Produksi, Hingga Performasi Mesin. <http://www.beritaiptek.com>. Diakses pada 14 Mei 2007.
- Irdoni, H. S. dan Nirwana, H. Z. 2007. *Modul Kimia Organik*. Teknik Kimia Universitas Riau. Pekanbaru.
- Priyanto, U. 2007. *Menghasilkan Biodiesel Jarak Pagar Berkualitas*. PT. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi (SBRC) LPPM-IPB. 2007. *Modul Pelatihan Pembuatan Biodiesel*. Kampus IPB Baranangsiang. Bogor.

-
- Sonntag, N. O. V. 1982. *Fat Splitting, Esterification, and Interesterification*. Di dalam *Baileys, Industrial Oil and Fat Products Vol. II, 4th Ed.* John Wiley and Sons. New York.
- Standar Nasional Indonesia 01-3555-1998. 1998. *Cara Uji Minyak dan Lemak*. Badan Standarisasi Nasional.
- Susilo, B. 2006. *Pemanfaatan Biji Jarak Pagar sebagai Alternatif Bahan Bakar*. Trubus Agrisarana. Surabaya.
- Yoeswono, dkk. 2006. *Pemanfaatan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Katalis Basa pada Reaksi Transesterifikasi dalam Pembuatan Biodiesel*. Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Zahrina, I. 2000. *Studi Evaluasi Efektivitas Katalis Abu Tandan Sawit pada Metanolisis Stearin*. Tesis Magister ITB. Bandung.