

PENGARUH KATALISATOR BASA PADA PRODUKSI BIODIESEL DARI CAMPURAN MINYAK KEDELAI DAN MINYAK JELANTAH

Primata Mardina¹

Abstract – The traditional alkali-catalyzed transesterification for the synthesis of biodiesel from the mixtures of soybean oil and waste cooking oil was carried out in a laboratory scale reactor. The effect of sodium hydroxide (NaOH) concentration as catalyst was investigated. The reaction temperature and stirring speed were maintained constant for 2 hours at 65°C and 600 rpm. For system equipped by agitation, and considered on rotational speed and length of rotor or in this case, magnetic bar, the G-force for this system was 10.06. The optimum condition was obtained at 0.75 wt% NaOH, mixing ratio of feedstock of 60%WCO-SO. The result showed increasing in the amount of NaOH gave a positive effect on a small percentage of waste cooking oil in mixture of feedstock, and negative effect on a greater percentage of waste cooking oil, it was due to that NaOH as alkali catalyst is very sensitive to qualities of feedstock, especially free fatty acid content of feedstock. Free fatty acid inhibited rate of transesterification reaction, and it caused side reaction; saponification reaction. It leads to complicated purification process and reduction of biodiesel as final product.

Keyword: Biodiesel, alkali-catalyzed transesterification, soybean oil, waste cooking oil

PENDAHULUAN

Bagian terbesar dari energi yang dikonsumsi di dunia berasal dari sumber daya fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Namun jenis energi ini jumlahnya terbatas dan ketersediaannya semakin menipis dari hari ke hari [9]. Sekarang ini perhatian dunia ditujukan pada biodiesel sebagai sumber daya energi alternatif terbarukan yang dapat mengurangi polusi udara dan mengurangi emisi gas rumah kaca yang merupakan faktor utama dari penyebab ketidaksetimbangan suhu global. Biodiesel dihasilkan dari minyak sayur yang dapat dikonsumsi dan tidak dapat dikonsumsi, lemak hewan, minyak jelantah, dan lain-lain. Karakteristik dari biodiesel antara lain warnanya bervariasi dari kuning keemasan sampai coklat gelap, tergantung dari bahan baku, biodiesel tidak dapat bercampur dengan dengan air, memiliki titik didih yang tinggi dan tekanan uap yang rendah.

Biodiesel dapat diproduksi dengan reaksi transesterifikasi, dimana trigliserida yaitu asam lemak yang terkandung di dalam minyak sayur atau lemak hewan direaksikan dengan senyawa alkohol dengan adanya katalisator, baik berupa basa ataupun asam, sehingga menghasilkan biodiesel sebagai hasil utama dan gliserol sebagai hasil samping. Transesterifikasi mengubah bahan

baku menjadi biodiesel dengan sifat-sifat yang bersesuaian dengan bahan bakar diesel [22]. Reaksi transesterifikasi terdiri dari tiga tahap reaksi *reversible* dimana trigliserida diubah menjadi digliserida, digliserida menjadi monogliserida diikuti pengubahan monogliserida menjadi gliserol. Dalam setiap tahapan reaksi produk biodiesel dihasilkan, sehingga ada tiga molekul biodiesel dari satu molekul trigliserida [44]. Hal-hal penting yang harus diperhatikan dalam reaksi transesterifikasi pada pembuatan biodiesel adalah kandungan air dan asam lemak bebas yang terkandung dalam bahan baku atau sistem reaksi, jenis bahan baku dan jenis katalisator. Kandungan air dan asam lemak bebas membawa dampak yang sangat signifikan terhadap jalannya reaksi transesterifikasi dengan alkohol dan katalisator [17]. Kandungan air yang tinggi mengakibatkan terjadinya reaksi hidrolisis dan menghasilkan asam lemak bebas, dimana asam lemak bebas merupakan inhibitor atau penghambat reaksi transesterifikasi. Kandungan asam lemak bebas yang tinggi di dalam bahan baku atau sistem reaksi akan menyebabkan timbulnya reaksi saponifikasi atau penyabunan jika reaksi transesterifikasi menggunakan katali-

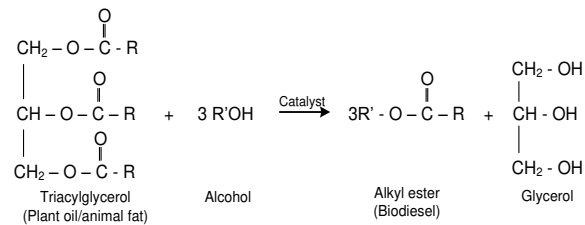
¹⁾ Staf Pengajar Fakultas Teknik Unlam Banjarmasin

sator basa, dan biodiesel yang dihasilkan harus melalui proses pemurnian yang kompleks agar dihasilkan produk dengan kualitas tinggi. Bahan baku dengan kandungan asam lemak bebas yang tinggi sebaiknya menggunakan katalisator asam, namun kadar produk yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan produk yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi dengan katalisator basa, dan memerlukan sistem reaksi yang tahan terhadap asam dan harus beroperasi pada suhu yang tinggi.

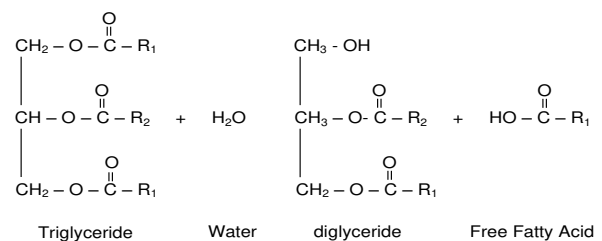
Biodiesel berkualitas tinggi dihasilkan dari bahan baku segar atau bahan baku yang telah melalui tahap pra-proses [10] dan [25]. Namun harga bahan baku segar cukup tinggi menyebabkan harga biodiesel di pasaran lebih tinggi daripada bahan bakar diesel dari fosil [19]. Para peneliti telah melakukan penelitian tentang kelayakan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel. Dorado *et al.*, (2004), menemukan bahwa yield dari produksi biodiesel mencapai 90% berbahan baku minyak jelantah dengan adanya methanol serta KOH sebagai katalisator basa. Selain harganya yang murah, penggunaan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel dapat membantu mengatasi masalah lingkungan. Minyak jelantah tidak dapat dibuang ke saluran pembuangan karena akan menyebabkan penyumbatan dan juga menimbulkan bau yang tidak sedap. Beberapa negara melarang pembuangan minyak jelantah di tempat pembuangan sampah perkotaan.

Penggunaan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel harus mempertimbangkan sifat fisik dan kimia dari minyak jelantah. Akibat pemanasan pada suhu tinggi dengan waktu yang cukup lama, terjadi perubahan sifat fisik dan kimia pada minyak, salah satunya adalah meningkatnya kandungan asam lemak bebas pada minyak. Penggunaan katalisator basa dalam pembuatan biodiesel dari minyak jelantah akan menyebabkan terjadi reaksi saponifikasi yang menghasilkan sabun sehingga kemurnian produk menjadi rendah. Alternative lain yaitu menggunakan asam sebagai katalisator untuk mencegah

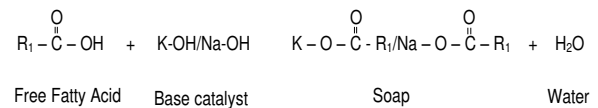
terjadinya sabun. Namun metode ini memerlukan waktu reaksi yang lama, suhu operasi yang tinggi, dan reaktor tahan korosif. Faktor-faktor tersebut akan meningkatkan biaya produksi biodiesel.



Gambar 1. Mekanisme reaksi transesterifikasi



Gambar 2. Mekanisme reaksi hidrolisis



Gambar 3. Mekanisme reaksi saponifikasi

Untuk mengatasi masalah tingginya harga bahan baku dan biaya produksi maka dilakukan sedikit modifikasi dalam penggunaan bahan baku yaitu dengan mencampur minyak jelantah dengan minyak sayur segar. Pencampuran bahan baku diharapkan dapat mengendalikan dampak negative dari asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak jelantah sehingga reaksi transesterifikasi berkatalisator basa dapat digunakan. Issariyakul *et al.*, (2008), dan Nakpong dan Wootthikanokkhan (2009) mengatakan penambahan minyak sayur segar ke minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel dengan rasio pencampuran tertentu dapat mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak jelantah terhadap reaksi transesterifikasi berkatalisator basa. Kandungan asam lemak bebas pada campuran bahan baku (minyak jelantah dan

minyak sayur segar) lebih rendah dibandingkan dengan bahan baku minyak jelantah tanpa pencampuran. Untuk reaksi transesterifikasi berkatalisator basa, semakin rendah kandungan asam lemak bebas, maka semakin tinggi kadar kemurnian dari produk biodiesel. Kemungkinan terjadinya pembentukan sabun akibat reaksi saponifikasi lebih kecil untuk campuran bahan baku jika dibandingkan dengan bahan baku berupa minyak jelantah.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh katalisator basa pada campuran minyak kedelai dan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel untuk menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi.

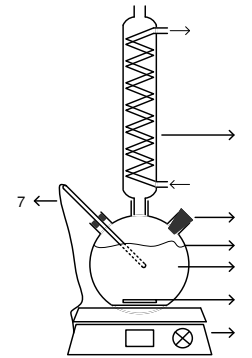
METODOLOGI PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain campuran minyak jelantah (WCO) dan minyak kedelai segar (SO) dengan berbagai rasio pencampuran. Minyak kedelai didapatkan dari toko swalayan. Minyak jelantah didapatkan dari kafetaria pelatihan militer, kota Wonju, Provinsi Gangwon, Korea Selatan. Metanol dengan kemurnian 99,98% dari Daejung Chemical and Metals Co. Ltd., dan sodium hidroksida p.a. dari Wako Pure Chemical Ltd.

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah serangkaian alat reaktor transesterifikasi yang terdiri dari labu leher tiga kapasitas 1000 mL dilengkapi dengan pengaduk magnet, kontrol suhu, dan pendingin balik. Reaktor diletakkan pada *digital hot plate magnetic stirrer* (MSH-20D).



Keterangan:

1. Reflux condenser
2. Pengambilan sampel
3. Labu leher tiga
4. Pengaduk magnet
5. Lempeng pemanas

Gambar 4. Reaktor pembuatan biodiesel

Prosedur Kerja

Minyak jelantah (WCO) dan minyak kedelai (SO) dicampur berdasarkan persentase volume terhadap minyak jelantah (100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80, 0:100). Sebelum proses transesterifikasi, bahan baku dianalisis untuk mengetahui bilangan asam dan bilangan sabun. Bahan baku sebanyak 300 gram dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian dipanaskan sampai 65°C. Larutan sodium metoksida dibuat dengan cara melarutkan sodium hidroksida p.a. dengan jumlah tertentu (% b/b terhadap berat bahan baku) dalam metanol (rasio molar metanol terhadap bahan baku 6:1), kemudian larutan tersebut dituangkan ke dalam reaktor yang sudah berisi bahan baku. Suhu dan kecepatan pengadukan dijaga konstan selama 2 jam pada 65°C dan 600 rpm.

Setelah reaksi selesai, produk dari proses transesterifikasi didiamkan selama kurang lebih 12 jam dalam suatu corong pemisah untuk pemisahan gliserol. Biodiesel dan gliserol dapat dipisahkan secara gravitasi dengan gliserol dibuang sebagai produk bawah dari corong pemisah.

Metanol yang tidak bereaksi direcovery dengan menggunakan *rotary vacuum evaporator*. Setelah proses recovery metanol selesai, kemudian dilanjutkan dengan pencucian biodiesel dengan menggunakan aquadest hangat. Hal ini bertujuan untuk

menghilangkan sisa katalisator, sabun dan pengotor lainnya. Proses pencucian dilakukan sampai pH dari air bekas pencucian mendekati 7. Kemudian biodiesel dipanaskan dalam oven pada suhu 90°C selama beberapa jam, dan pada akhirnya dilewatkan pada sodium sulfat anhidrida untuk memastikan tidak ada molekul air dalam biodiesel.

Biodiesel yang telah dimurnikan kemudian dites untuk memastikan apakah produk biodiesel sesuai dengan Standar Internasional untuk produk biodiesel, yaitu ASTM dan European Standard. Tes yang dilakukan untuk biodiesel antara lain analisis bilangan asam (FBI-A01-03), bilangan sabun (FBI-A03-03), dan analisis gliserol total serta gliserol bebas (FBI-A02-03).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat kimia bahan baku

Bilangan asam, bilangan sabun dan berat molekul rata-rata dari bahan baku ditunjukkan pada tabel 1. Bilangan asam semakin meningkat seiring dengan bertambahnya persentase minyak jelantah dalam campuran bahan baku. Bilangan asam menunjukkan kandungan asam lemak bebas pada bahan baku. Tingginya kandungan asam lemak bebas pada minyak jelantah disebabkan oleh proses pemasakan atau penggorengan.

Analisis dari bahan baku juga menunjukkan pengaruh dari minyak jelantah terhadap bilangan sabun dari bahan baku. Semakin tinggi persentase minyak jelantah semakin kecil bilangan sabun dari bahan

baku. Hal ini disebabkan timbulnya senyawa polimer akibat proses penggorengan. Sifat kimia bahan baku menunjukkan kualitas dari bahan baku, dan menurut literatur kualitas dari biodiesel bergantung pada kualitas bahan baku.

Pengaruh dari konsentrasi katalisator

Konsentrasi dari katalisator basa adalah parameter utama yang dipelajari pada rasio pencampuran bahan baku antara minyak jelantah dan minyak kedelai segar. Beberapa peneliti percaya bahwa katalisator basa tidak dapat membantu meningkatkan kecepatan dari reaksi transesterifikasi untuk bahan baku dengan kandungan asam lemak bebas yang tinggi. Pada penelitian ini kandungan asam lemak bebas yang tinggi dari bahan baku disebabkan adanya minyak jelantah dalam campuran. Kelebihan katalisator tidak dapat meningkatkan kecepatan reaksi transesterifikasi karena akan menghasilkan sabun, peningkatan jumlah produk antara seperti digliserida dan monogliserida serta trigliserida sebagai reaktan yang tak bereaksi di dalam sistem reaksi.

Penelitian ini mempelajari efisiensi dari reaksi esterifikasi berkatalisator basa terhadap pencampuran bahan baku, serta mempelajari efisiensi dari penambahan dari minyak kedelai segar ke dalam bahan baku untuk meningkatkan konversi dari reaksi transesterifikasi.

Pengaruh konsentrasi NaOH pada reaksi transesterifikasi telah diteliti dengan variasi konsentrasi dari 0.5 sampai 1.5% w/w (berdasarkan berat bahan baku). Semua tipe biodiesel yang dihasilkan dianalisis sifat kimianya dan hasilnya ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 1. Sifat kimia bahan baku

KUALITAS	SATUAN	0% WCO-SO	20% WCO-SO	40% WCO-SO	50% WCO-SO	60% WCO-SO	80% WCO-SO	100% WCO-SO
Bilangan asam	mg KOH/g	0.0685	0.7626	1.2596	1.5607	1.9466	2.6697	2.6935
	mg KOH/g	193.3687	192.1140	190.9007	189.2079	188.8662	188.3603	187.8608
Bilangan sabun	gram/mole	870.3579	876.0422	881.3633	889.4976	891.1072	893.5006	895.8762
Berat molekul rata-rata								

Tabel 2. Parameter kualitas produk biodiesel

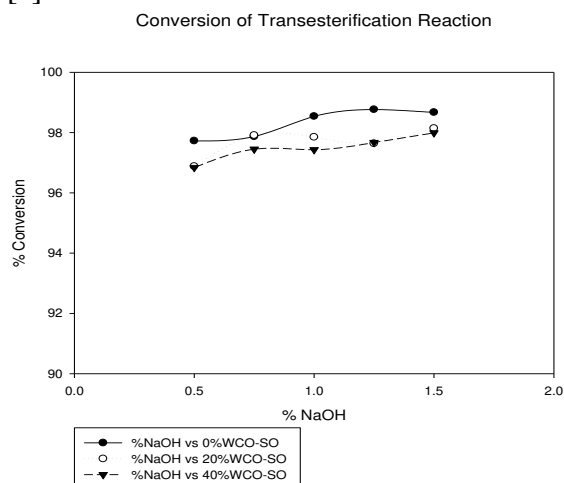
%WCO-SO	KUALITAS PRODUK BODIESEL					
	Bil. asam, mg KOH/g	Bil. sabun, mg KOH/g	Gliserol Total, %-mass	Gliserol Bebas, %-mass	Konversi, %	Densitas, kg/m ³
ASTM D6751	0.5	NA	0.24	0.02	NA	NA
EN 14214	0.8	NA	0.25	0.02	NA	860-900
0%WCO-SO						
0.50% NaOH	0.0644	193.4490	0.2371	0.0121	97.7252	870
0.75% NaOH	0.0603	193.6658	0.2222	0.0096	97.8702	871
1.00% NaOH	0.0589	193.5077	0.1513	0.0081	98.5390	870
1.25% NaOH	0.0549	193.6760	0.1377	0.0081	98.6707	884
1.50% NaOH	0.0494	193.8689	0.1283	0.0093	98.7644	885
20%WCO-SO						
0.50% NaOH	0.2514	188.2859	0.3074	0.0066	96.8804	879
0.75% NaOH	0.1820	188.3322	0.2052	0.0036	97.9111	880
1.00% NaOH	0.1820	188.2766	0.2112	0.0079	97.8514	881
1.25% NaOH	0.1433	188.2822	0.2346	0.0056	97.6446	880
1.50% NaOH	0.1428	188.2846	0.1834	0.0029	98.1426	882
40%WCO-SO						
0.50% NaOH	0.1847	188.5414	0.3154	0.0045	96.8413	876
0.75% NaOH	0.1862	188.5741	0.2524	0.0054	97.4528	880
1.00% NaOH	0.1851	188.3215	0.2540	0.0060	97.4344	886
1.25% NaOH	0.1831	188.4114	0.2300	0.0072	97.6697	880
1.50% NaOH	0.1819	188.3678	0.1972	0.0030	97.9885	879
50%WCO-SO						
0.50% NaOH	0.2496	188.4444	0.3398	0.0036	96.5691	886
0.75% NaOH	0.2521	188.4288	0.3044	0.0115	96.9115	886
1.00% NaOH	0.2522	188.3866	0.1948	0.0091	97.9745	879
1.25% NaOH	0.3865	188.6024	0.2120	0.0048	97.7391	888
1.50% NaOH	0.3996	188.3165	0.2522	0.0018	97.3379	881
60%WCO-SO						
0.50% NaOH	0.4637	188.0804	0.3692	0.0079	96.1632	872
0.75% NaOH	0.4060	188.1796	0.2344	0.0036	97.5056	885
1.00% NaOH	0.4451	187.9967	0.2492	0.0103	97.3381	878
1.25% NaOH	0.4592	187.1567	0.2507	0.0073	97.3043	879
1.50% NaOH	0.4611	187.1573	0.2522	0.0072	97.2891	881
80%WCO-SO						
0.50% NaOH	0.4192	187.7554	0.3876	0.0097	96.0006	884
0.75% NaOH	0.4176	187.5185	0.3169	0.0114	96.6858	877
1.00% NaOH	0.3213	187.4155	0.3858	0.0085	96.0628	878
1.25% NaOH	0.4153	187.3685	0.4006	0.0061	95.8675	878
1.50% NaOH	0.4356	187.2770	0.4126	0.0030	95.7379	884
100%WCO-SO						
0.50% NaOH	0.4619	187.8339	0.5708	0.0055	94.1960	876
0.75% NaOH	0.4352	187.5472	0.3270	0.0037	96.5786	873
1.00% NaOH	0.4626	187.4739	0.5605	0.0085	94.2850	877
1.25% NaOH	0.4651	187.4427	0.6313	0.0061	93.5911	881
1.50% NaOH	0.4635	187.4061	0.6603	0.0073	93.3084	877

Bilangan asam, gliserol bebas, dan densitas dari semua produk biodiesel memenuhi standar untuk biodiesel, baik itu dari *ASTM Standard* maupun *European Standard*. Tetapi untuk gliserol total, ada beberapa nilai yang keluar dari range standar. Tingginya nilai gliserol total untuk beberapa produk biodiesel menunjukkan tidak sempurnanya reaksi transesterifikasi serta tidak sempurnanya proses pemurnian produk.

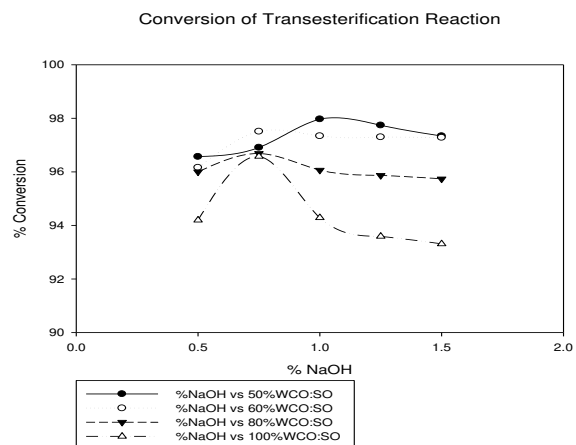
Hasil penelitian menunjukkan pengaruh dari konsentrasi NaOH pada konversi reaksi transesterifikasi untuk setiap rasio pencampuran berbeda. Untuk 0% WCO-SO, 20% WCO-SO, dan 40% WCO-SO, penambahan konsentrasi NaOH dari 0.5 sampai 1.5% w/w dapat meningkatkan konversi (gambar 5a). Nilai konversi untuk 0% WCO-SO, 20% WCO-SO, dan 40% WCO-SO adalah 98.76%, 98.14% dan 97.98% pada 1.5% w/w NaOH untuk waktu reaksi 120 menit.

Sedangkan untuk rasio pencampuran 50% WCO-SO, 60% WCO-SO, 80% WCO-SO dan 100% WCO-SO, konversi bertambah seiring bertambahnya NaOH, dan setelah mencapai titik maksimum, konversi cenderung berkurang dengan bertambahnya konsentrasi NaOH (gambar 5b). Hal ini dikarenakan timbulnya emulsi pada sistem reaksi akibat besarnya konsentrasi katalisator basa.

[a]



[b]

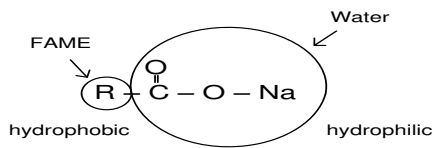


Gambar 5. Pengaruh konsentrasi katalisator pada pencampuran bahan baku: [a] 0%-40% WCO-SO; [b] 50%-100% WCO-SO

Fenomena ini dapat dijelaskan sebagai akibat dari reaksi samping yaitu reaksi saponifikasi antara asam lemak bebas yang terkandung dalam bahan baku dengan katalisator basa; NaOH, dan menyebabkan ketidaksempurnaan reaksi. Hal ini mengakibatkan konversi reaksi akan kecil.

Menurut Leung dan Guo (2006), kelebihan katalisator NaOH hanya memberikan pengaruh yang kecil terhadap pembentukan senyawa ester (biodiesel) dalam hasil reaksi transesterifikasi, tetapi berpengaruh besar terhadap penambahan biaya untuk proses pengambilan kembali katalisator dan pembuangan sabun pada tahap pemurnian produk.

Pembentukan sabun dalam sistem reaksi akan mengurangi konversi reaksi dan hal ini dapat menghambat proses pemurnian dari produk biodiesel, termasuk tahap pemisahan gliserol dan tahap pencucian dengan air hangat. Pada kasus ini, molekul-molekul sabun mengikat air pada ujung *hydrophilic*-nya sehingga terbentuk emulsi, dan secara bersamaan juga mengikat biodiesel pada ujung *hydrophobic*-nya. Bentuk kombinasi ini menyebabkan berkurangnya produk biodiesel karena beberapa bagian dari produk biodiesel terbuang bersama dengan bekas air pencuci dan emulsi.



Gambar 6. Molekul sabun

Berdasarkan harga bahan baku dan biaya operasi dari reaksi transesterifikasi berkatalisator basa, dapat disimpulkan bahwa kualitas produk biodiesel yang ekonomis dapat dihasilkan pada konsentrasi basa 0.75% w/w NaOH untuk 60% WCO-SO. Bilangan asam, gliserol total, gliserol bebas, densitas dan konversi yang dihasilkan adalah 0.4060 mg KOH/gram, 0.2344%, 0.0036%, 885 kg/m³, dan 97.51%, untuk waktu reaksi 120 menit, 65°C, 600 rpm dan 6:1 rasio molar dari metanol terhadap minyak bahan baku.

KESIMPULAN

Produksi biodiesel dari minyak jelantah dapat dilakukan dengan transesterifikasi berkatalisator basa, walaupun prosesnya agak sulit dan produk yang dihasilkan kemurniannya rendah. Penambahan sejumlah minyak kedelai dapat meningkatkan kemurnian produk dan meningkatkan konversi dari reaksi transesterifikasi berkatalisator basa. Selain itu juga dapat disimpulkan, peningkatan konsentrasi sodium hidroksida sebagai katalisator basa, akan membawa dampak negatif khususnya pada rasio minyak jelantah yang besar, hal ini disebabkan kandungan asam lemak bebas yang bisa menimbulkan reaksi saponifikasi sebagai penghambat reaksi utama.

Parameter optimum untuk proses transesterifikasi dengan bahan baku campuran minyak jelantah dan minyak kedelai ditinjau berdasarkan bilangan asam, bilangan sabun, kandungan gliserol total dan bebas, didapatkan pada 60% WCO-SO dan 0,75% b/b sodium hidroksida dengan konversi sebesar 97,51%, untuk reaksi transesterifikasi selama 2 jam, 65°C, 600

rpm dan rasio molar metanol terhadap bahan baku sebesar 6:1.

DAFTAR PUSTAKA

- Kulkarni, M.G. and A.K. Dalai, 2006. Waste cooking oil an economical source for biodiesel: A review. *Ind.Eng.Chem.Res.* 45, 2901-2913.
- Sharma, Y.C., Singh, B. and Upadhyay, S.N., 2008. Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. *Fuel* 87, 2355-2373.
- Goodrum, J. W., 2002. Volatility and boiling points of biodiesel from vegetable oils and tallow. *Biomass Bioenergy* 22, 205-211.
- Dmytryshyn, S.L., Dalai, A.K., Chaudhari, S. T., Mishra, H.K., and Reaney, M. J., 2004. Synthesis and characterization of vegetable oil derived esters: evaluation for their diesel additive properties. *Bioresource Technology* 92, 55-64.
- Leung, D. Y. C., and Guo, Y., 2006. Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production. *Fuel Processing Technology* 87, 883-890.
- Issariyakul, T, Kulkarni, M. G., Meher, L. C., Dalai, A. K., and Bakhshi, N. N., 2008. Biodiesel production from mixtures of canola oil and used cooking oil. *Chemical Engineering Journal* 140, 77-85.
- Dermibas A., 2005. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods. *Progress in energy and combustion science* 31, 466-487.
- Bajpai D. and Tyagi V. K., 2006. Biodiesel: Source, Production, Composition,

- Properties and Its Benefits. *Journal of Oleo Science* 10, 487-502.
- Banerjee, A., and Chakraborty, R., 2009. Parametric sensitivity in transesterification of waste cooking oil for biodiesel production-A review. *Resources, Conservation and Recycling* 53, 490-497.
- Bautista, L. F., Vicente, G, Rodriguez, R., and Pacheco, M., 2009. Optimisation on FAME production from waste cooking oil for biodiesel use. *Biomass and Bioenergy* 33, 862-872.
- Berchmans H J, Hirata S., 2008. Biodiesel production from crude Jathropa curcas L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource Technology* 99, 1716-1721.
- Canakci, M., Van Gerpen, J., 2001. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. *Trans. ASAE* 44, 1429-1436.
- Canakci, M., Van Gerpen, J., 2003. A pilot plant to produce biodiesel from high free fatty acid feedstocks. *Trans. ASAE* 46, 945-954.
- Chung, K. H., Kim, J., and Lee, K. Y., 2009. Biodiesel production by transesterification of duck tallow with methanol on alkali catalysts. *Biomass and Bioenergy* 33, 155-158.
- Dias, J. M., Ferraz, C. A., and Almeida, M. F., 2008. Using mixtures of waste frying oil and pork lard to produce biodiesel. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 44, 258-262.
- Dorado, M.P., Ballesteros, E., Mittelbach, M., and Lopez, F.J., 2004. Kinetic parameters affecting the alkali-catalyzed transesterification process of used olive oil. *Energy & Fuels* 18, 1457-1462.
- Encinar, J. M., Gonzales, J. F., and Rodriguez-Reinares, A., 2007. Ethanolysis of used frying oil. Biodiesel preparation and characterization. *Fuel Processing Technology* 88, 513-522.
- F.J. Sprules, D. Price, 1950. Production of fatty esters. US Patent No. 2,366,494.
- Felizardo, P., Correia, M. J. N., Raposo, I., Mendes, J. F., Berkeimer, R., and Bordado, J. M., 2006. Production of biodiesel from waste frying oils 26, 487-494.
- Freedman, B., Butterfield, R. O., and Pryde E. H., 1986. Transesterification kinetics of soybean oil. *JAOCS* 63 (10), 1375-1380.
- Freedman, B., Butterfield, Pryde E. H., and Mounts, T.L., 1984. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *JAOCS* 61 (10), 1638-1643.
- Gui, M.M., Lee, K. T., and Bhatia, S., 2008. Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock. *Energy* 33, 1646-1653.
- Ji, J., Wang, j., Li, Y., Yu, Y., and Xu, Z., 2006. Preparation of biodiesel with the help of ultrasonic and hydrodynamic cavitation. *Ultrasonic* 44, e411-e414.
- Kouzu M, Kasuno T, Tajika M, et al., 2008. Calcium oxide as a solid base catalyst for transesterification of soybean oil and its application to biodiesel production. *Fuel* 87, 2798-2806.
- Lam, M.K., Lee, K. T., and Mohamed, A. R., 2010. Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review. *Biotechnology Advances* 28, 500-518.

- Lang X., A.K. Dalai, N.N. Bakhshi, M.J. Reaney and P.B. Hertz, 2001. Preparation and Characterization of Bio-diesels from Various Bio-oils .Bioresource Technology 80, 53-62.
- Lu H, Liu Y, Zhou H, et al., 2009. Production of biodiesel from *Jatropha curcas* L.oil. Computers and Chemical Engineering 33, 1091-1096.
- Ma, F., Clements, L. D., and Hanna, M. A., 1998. The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow. American Society of Agricultural Engineers 41(5), 1261-1264.
- Ma, F., and Hanna, M. A., 1999. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology 70, 1-15.
- Meher, L. C., Dharmagadda, V. S. S., and Naik, S. N., 2006. Optimization of alkali-catalyzed transesterification of *Pongamia pinnata* oil for production of biodiesel. Bioresource Technology 97, 1392-1397.
- Meng X.m Chen, G., and Wang, Y., 2008. Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test. Fuel Processing Technology 89, 851-857.
- Murugesan, A., Umarani, C., Chinnusamy, T. R., Krishnan, M., Subramanian, R., and Neduzchezhain, N., 2009. Production and analysis of bio-diesel from non-edible oils – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 825-834.
- Nakpong, P. and Wootthikanokkhan, S., 2009. Biodiesel production from mixtures of vegetable oil and used cooking oil. As. J. Energy Env. 10(04), 221-229.
- Nelson, L. A. et al., 1996. Lipase-catalyzed production of biodiesel. J. Am. Oil Chem. Soc. 73, 1191-1195.
- Noureddini H., and Zhu, D., 1997. Kinetics of transesterification of soybean oil. JAOCS 74 (11), 1457-1463.
- Obibuzor J.U., R.D. Abigor and D.A. Okiy, 2003. Recovery of Oil via Acid-Catalyzed Transesterification, JAOCS 80(1), 77-80.
- Patil P. D. and Deng S., 2009. Optimization of biodiesel production from edible and non-edible vegetable oils. Fuel 88, 1302-1306.
- Phan, A. N., and Phan, T. M., 2008. Biodiesel production from waste cooking oils 87, 3490-3496.
- Predojevic, Z. J., 2008. The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison of different purification steps. Fuel 87, 3522-3528.
- O. J. Alamu, M. A. Waheed and S. O. Jekayinfa. 2007. Alkali-catalysed laboratory production and testing of biodiesel fuel from Nigerian palm kernel oil. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Vol. IX.
- Ramos M. J. et al., 2009. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. Bioresource Technology 100, 261-268.
- Ryan, T. W.; Dodge, G.; Callahan, T. J., 1984. The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines. J. Am. Oil Chem. Soc., 61, (10) 1610-1619.
- Schuchardt, U., Sercheli, R., and Vargas, R. M., 1998. Transesterification of Vegetable Oils: a Review. J. Braz. Chem. Soc. 9(1), 199-210.
- Sharma, Y.C. and Singh, B., 2008. Development of biodiesel from karanja, a tree found in rural India. Fuel 87, 1740-1742.

- Shimada Y. et al., 1999. Conversion of vegetable oil to biodiesel using immobilized *Candida Antarctica* lipase. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 77, 789-793.
- Sinha, S., Agarwal, A. K., and Garg, S., 2008. Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization. *Energy Conversion and Management* 49,1248-1257.
- Taravus S., Temur, H., and Yartasi, A., 2009. Alkali-catalyzed biodiesel production from mixtures of sunflower oil and beef tallow. *Energy & Fuels* 23, 4112-4115.
- Tomasevic, A.V., and Marinkovic, S.S., 2003. Methanolysis of used frying oil. *Fuel Processing Technology* 81, 1-6.
- Utlü, Z. and Kocak, M.S., 2008. The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Renewable Energy* 33, 1936-1941.
- Wang, Y., Ou, S., Liu, P., Xue, F., and Tang, S., 2006. Comparison of two different processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 252, 107-112.
- Yang, F. X., et al., 2009. Preparation of biodiesel from *Idesia polycarpa* var. *vestita* fruit oil. *Industrial Crops and Product* 29, 622-628.
- Zhang, Y., Dube, M. A., McLean, D.D., and Kates, M., 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. *Bioresource Technology* 89, 1-16.