

PENGGUNAAN MODEL PENGADUK *PITCHED BLADE TURBIN* DAN *FIVE BLADE TURBIN* PADA PRODUKSI BIODIESEL DARI RESIDU MINYAK DALAM TANAH PEMUCAT BEKAS (SBE) SECARA *IN SITU*

THE APPLICATION OF PITCHED BLADE TURBINE AND FIVE BLADE TURBINE IMPELLERS MODELS ON BIODIESEL PRODUCTION FROM RESIDUAL OIL IN SPENT BLEACHING EARTH (SBE) BY IN SITU PROCESS

Ani Suryani^{*}, Suprihatin, dan M. Rifky Rachmad Lubis

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, PO.Box 122, Bogor 16002, Indonesia
E-mail: anisuryani.sbrcipb@gmail.com

ABSTRACT

The high content of crude palm oils in SBE represents a high potential as raw material for the biodiesel production. The suitable technique used in the biodiesel production is in situ esterification and transesterification. The advantages of this technique are more efficient and requires a short time; it leads to improve the yield of biodiesel. The research was carried out to obtain the best impeller performance (five-blade turbine or pitched-blade turbine) and ratio variation of solvent methanol/hexane/SBE with focus on the obtaining of the best yield and quality of biodiesel. Results of analysis of variance show that the best condition for the in situ process was the utilization of pitched-blade turbine and ratio of methanol/hexane/SBE of 6:0:1 (A2/B1) with a stirring speed of 650 rpm at a temperature of 65°C. This condition could produce biodiesel yield of 90.17% and with the best characteristic such as density of 0.85 mg/mL, viscosity of 6 cSt, acid number of 0.77 mg KOH/g, saponification number of 287.59 mg KOH/g, total glycerol content of 0.21% and ester alkyl content of 99.76%.

Keywords: five blade turbine impeller, pitched blade turbine impeller, in situ esterification and transesterification process, spent bleaching earth (SBE)

ABSTRAK

Tingginya kandungan minyak sawit dalam SBE berpotensi dimanfaatkan dalam produksi biodiesel. Teknik yang sesuai digunakan dalam proses produksi biodiesel ini adalah esterifikasi dan transesterifikasi *in situ*. Keuntungannya lebih efisien dan waktu proses lebih singkat, sehingga dapat menyebabkan peningkatan rendemen biodiesel. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja model pengaduk mana yang terbaik (*five-blade* turbin atau *pitched-blade* turbin) dan variasi rasio pelarut metanol/heksana/SBE dalam mendapatkan rendemen dan mutu biodiesel yang terbaik. Hasil analisis ragam menunjukkan kondisi proses *in situ* yang terbaik adalah dengan menggunakan pengaduk model *pitched-blade* turbin dan variasi rasio metanol/heksana/SBE 6:0:1 pada suhu 65°C dengan kecepatan pengadukan 650 rpm. Kondisi ini menghasilkan rendemen biodiesel 90,17%, densitas 0,85 mg/mL, viskositas 6 cSt, bilangan asam 0,77KOH/g, bilangan penyabunan 287,59 mg KOH/g, gliserol total 0,21%, kadar ester alkil 99,76%.

Kata kunci: biodiesel, pengaduk *five-blade* turbin, *pitched-blade* turbin, proses esterifikasi dan transesterifikasi *in situ*, tanah pemucat bekas (SBE)

PENDAHULUAN

Biodiesel merupakan bahan bakar mesin diesel yang terdiri atas ester alkil dari asam-asam lemak. Bahan baku biodiesel yang berpotensi besar di Indonesia untuk saat ini adalah CPO. Pada proses pemurnian CPO yang masih mengandung bahan-bahan pengotor yang tidak diinginkan harus dikenakan proses pemurnian meliputi *degumming*, netralisasi, *bleaching* dan dilanjutkan dengan deodorisasi lalu fraksinasi. Bahan yang digunakan pada Proses *bleaching* atau pemucatan adalah *bleaching earth* (bentonit).

Seiring berkembangnya industri minyak nabati, kebutuhan akan *bleaching earth* terus meningkat. Namun disisi lain bentonit tidak dapat

diperbaharui dan akan menimbulkan limbah yang banyak dan berpotensi sebagai bahan pencemar lingkungan. Pada dasarnya SBE masih mengandung 20-30% minyak nabati (Young, 1987). Tingginya kandungan minyak nabati dalam SBE sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel.

Esterifikasi atau transesterifikasi *in situ* adalah proses ekstraksi minyak dan reaksi esterifikasi atau transesterifikasi juga dilangsungkan secara simultan, selain lebih efisien, proses ini juga akan mempersingkat waktu karena proses konversi bahan baku menjadi biodiesel dilakukan secara simultan dengan proses ekstraksi minyak (Shiu *et al.*, 2010). Esterifikasi dan transesterifikasi *in situ* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bahan baku,

jenis pelarut, rasio pelarut, jenis/konsentrasi katalis, waktu reaksi, suhu reaksi, dan model pengaduk.

Jenis pengaduk yang digunakan mempunyai peranan penting selama proses ekstraksi dan konversi berlangsung. Untuk mendapatkan pengadukan dan pencampuran efektif dan efisien, model pengaduk harus disesuaikan terhadap sifat fisik bahan yang diaduk dimana dimensi pengaduk juga disesuaikan terhadap reaktor yang digunakan (McCabe, 2004). Hal ini sangat penting dilakukan untuk memperoleh kualitas dan rendemen produk semaksimal mungkin.

Model pengaduk pada umumnya yang digunakan dalam proses produksi biodiesel dari jarak pagar adalah model *five blade* turbin. Menurut McCabe (2004) pengaduk model ini digunakan pada kecepatan tinggi dengan kekentalan fluida yang sangat luas namun kurang sesuai digunakan untuk mengaduk suspensi padatan. Pengaduk jenis ini menghasilkan aliran radial. Sedangkan model pengaduk yang baik dalam melakukan pencampuran bahan viskositas tinggi/solid, diupayakan memiliki pola aliran kombinasi (aksial dan radial) dan model pengaduk yang dapat menghasilkan aliran tersebut adalah model pengaduk *pitched blade* turbin.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan model pengaduk (*five-blade* turbin atau *pitched-blade* turbin) dan variasi rasio metanol/heksana/bahan (6:0:1; 5:1:1, 4:2:1) terbaik untuk menghasilkan rendemen dan mutu biodiesel yang baik yang diproduksi secara *in situ* pada reaktor 10 L.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah SBE yang diperoleh dari PT. Asian Agri. Bahan lainnya adalah metanol, KOH, heksana, aquades, HCl, etanol dan indikator phenophtalein, indikator bromophenol blue, larutan kanji, KI, larutan asam periodat, kloroform, dll.

Peralatan yang dibutuhkan pada proses pembuatan biodiesel adalah reaktor 10 L, pengaduk *five-blade* turbin (pengaduk dengan 5 pisau pengaduk yang tersusun vertikal tegak dengan dua *stirring shaft*) dan pengaduk *pitched-blade* turbin (pengaduk dengan 4 pisau pengaduk yang saling tersusun miring 45° dengan dua *stirring shaft*),

pemanas, kondensor, termometer, pompa vakum, labu pemisah, kertas saring, oven, buret, cawan porselen, *Soxhlet apparatus*, peralatan gelas, *rotary evaporator*, labu erlenmeyer, viskometer Ostwald, piknometer, dll.

Metode

Karakterisasi SBE

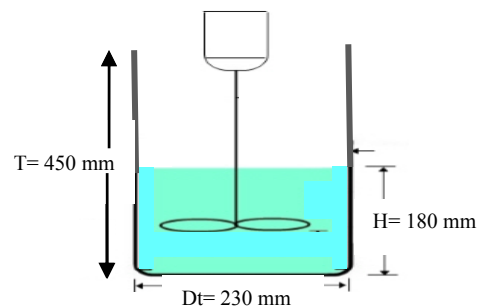
Tahap untuk mengetahui karakteristik SBE sebelum dilakukan proses produksi biodiesel sekaligus untuk menentukan tahapan produksi menggunakan metode *in situ* yang dilakukan. Analisis yang dilakukan meliputi kadar air, kadar asam lemak bebas dan kadar lemak. Analisa masing-masing parameter dilakukan sebanyak dua kali pengulangan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat.

Persiapan/perancangan pengaduk

Pada penelitian ini digunakan model pengaduk *five-blade* turbin dan *pitched-blade* turbin. Letak perbedaan antara kedua jenis pengaduk tersebut yakni pada bentuk, dimensi, dan posisi sudut miring dari pisau pengaduk (*blade*). Menurut McCabe (2004) dimensi dan geometri tangki menjadi salah satu pertimbangan dasar dalam pengoptimalan kemampuan pengaduk untuk dapat menggerakkan dan membuat pola aliran fluida yang melingkupi seluruh bagian fluida di dalam tangki. Hal ini berarti pengaduk yang baik diperoleh dari perhitungan perbandingan terhadap wadah pengaduk yang digunakan termasuk pada jenis bahan yang akan diaduk. Pengaduk model *five-blade* turbin telah dirancang dengan jumlah blade yang digunakan sebanyak lima blade yang tersusun secara vertikal tegak, namun jenis pengaduk ini tidak memiliki dimensi yang sesuai perhitungan optimalisasi pengaduk baik terhadap tinggi pengaduk dari dasar tangki (C), diameter pengaduk (D), dan lebar pengaduk (W) serta posisi blade yang kurang sesuai sebagai pengaduk bahan padatan. Pengaduk jenis *pitched-blade* turbin adalah model pengaduk yang sengaja dirancang sehingga dapat menghasilkan pola aliran kombinasi yang diinginkan. Perancangan model pengaduk dimulai dari perhitungan dan perbandingan antara dimensi tangki dengan tinggi bahan dalam tangki yang ditunjukkan pada Gambar 1.

$$\frac{D}{t} = \frac{1}{1} ; \frac{D}{t} = \frac{3}{1} ; \frac{W}{D} = \frac{1}{4} ; \frac{C}{D} = \frac{1}{1} ; \frac{D}{t} = \frac{1}{2}$$

C = tinggi pengaduk dari dasar tangki
D = diameter pengaduk
Dt = diameter tangki
H = tinggi fluida dalam tangki
J = lebar *baffle*
W = lebar pengaduk



Gambar 1. Dimensi reaktor yang digunakan selama proses produksi biodiesel

Proses Produksi Biodiesel

Proses produksi biodiesel dilakukan dengan teknik esterifikasi-transesterifikasi *in situ*. Esterifikasi *in situ* dilakukan dengan mereaksikan 1000 gram SBE dengan metanol, heksana, dan H₂SO₄ metanolik. Perbandingan jumlah metanol/heksana/bahan yang digunakan adalah 6/0/1, 5/1/1, dan 4/2/1 (v/v/b). Jumlah katalis H₂SO₄ yang ditambahkan sebanyak 1,5% (v/b). Kedua jenis pengaduk *five blade* dan *pitched blade* yang digunakan setiap satu kali (proses *batch*) produksi secara bergantian (per *batch* adalah dengan 3 kali percobaan per satu kali ulangan). Selama proses digunakan kecepatan pengadukan sebesar 650 rpm pada suhu 65 °C. Esterifikasi *in situ* berlangsung 3 jam dan selama proses dilakukan pengambilan sampel pada dua titik waktu (menit ke- 90 dan menit ke-180). Setelah esterifikasi *in situ* selesai, dilanjutkan transesterifikasi *in situ* 1 jam dengan kondisi suhu dan kecepatan sama seperti kondisi proses esterifikasi *in situ* sebelumnya. Pada proses ini ditambahkan katalis basa NaOH sebanyak 1,5% (b/b) terhadap bobot bahan. Selanjutnya dilakukan penyaringan untuk memisahkan ampas dari filtrat. Ampas SBE diekstrak kembali menggunakan Soxhlet apparatus untuk menghitung kadar lemak ampas dan komponen non-trigliserida yang tidak terekstrak.

Analisis Biodiesel

Analisis yang dilakukan adalah meliputi densitas (AOCS Cc 10c-95), viskositas (ASTM D 445), bilangan asam (SNI 01-3555-1998), bilangan penyabunan (AOCS Cd 3-25), kadar gliserol total (AOCS Ca 14-56), kadar ester alkil, dan kadar air dan sedimen (ASTM D-2709).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Spent Bleaching Earth (SBE)

Karakteristik SBE yang dianalisis, meliputi kadar air, kadar asam lemak bebas dan kadar lemak. Data hasil analisis terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik SBE

Karakteristik	Nilai (%)
Kadar air	1,53
Kadar asam lemak bebas	2,2
Kadar lemak	17,86

Kadar air sangat berpengaruh terhadap tahapan proses produksi biodiesel. Kadar air yang terkandung pada SBE dapat menyebabkan peningkatan kadar asam lemak bebas pada residu minyak dalam SBE karena terjadi hidrolisis. Hidrolisis adalah reaksi dimana terjadinya penguraian lemak atau trigliserida oleh molekul air menjadi asam-asam lemak bebas dan gliserol. kadar air maksimal adalah 1,9% (Qian *et al.*, 2008).

Analisis kadar asam lemak bebas yang diperoleh cukup tinggi yaitu 2,20%, hal ini mempengaruhi rendemen dan kualitas biodiesel, karena menurut Freedman *et al.* (1984) kandungan asam lemak bebas lebih dari 0,3% dapat menurunkan rendemen transesterifikasi minyak. Proses produksi biodiesel dengan kadar asam lemak bebas yang tinggi dilakukan dengan dua tahapan yaitu esterifikasi dan transesterifikasi.

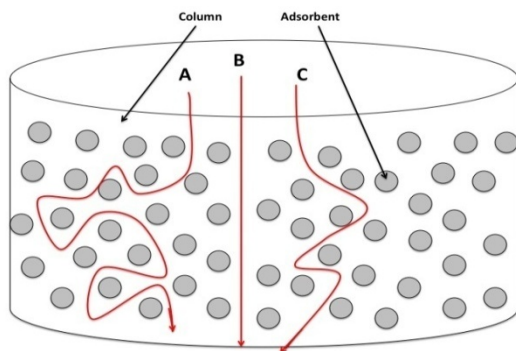
Model Pengaduk

Pada umumnya pengadukan merupakan kunci utama dalam melakukan pencampuran suatu bahan baik pada fase yang sejenis ataupun pada fase yang berbeda namun memiliki satu tujuan yaitu agar bahan dapat saling berinteraksi hingga mencapai homogenitas tertentu pada waktu tertentu. McCabe (2004) menambahkan bahwa proses pengadukan dan pencampuran untuk mengatasi tiga jenis permasalahan utama, yaitu (1) untuk menghasilkan keseragaman statis ataupun dinamis pada sistem multifase multikomponen, (2) untuk memfasilitasi perpindahan massa atau energi diantara bagian-bagian dari sistem yang tidak seragam dan (3) untuk menunjukkan perubahan fase pada sistem multikomponen dengan atau tanpa perubahan komposisi. Pada penelitian ini jika semakin baik pengadukan yang terjadi maka akan semakin besar peluang antara metanol/heksana, katalisator (asam/basa) dengan SBE saling bercampur atau bertumbukan sehingga menyebabkan transfer massa dan energi yang baik. Kondisi tersebut adalah kondisi yang sangat diharapkan pada proses esterifikasi-transesterifikasi *in situ* dalam melakukan konversi asam lemak bebas dan trigliserida menjadi metil ester.

Menurut McCabe (2004) pencampuran terjadi karena adanya gumpalan-gumpalan fluida yang terbentuk (fluida yang terbentuk dan tercampur akibat dari proses saling bertumbukan karena pengadukan) dan tercampakkan di dalam medan aliran yang dikenal sebagai *eddies*, sehingga mekanisme pencampuran ini disebut *eddy diffusion*. Mekanisme ini membedakan pencampuran dalam keadaan turbulen dan pencampuran keadaan laminar. Keadaan laminar atau turbulen pada pencampuran yang terjadi merupakan faktor penting yang harus diperhatikan. Keadaan mana yang diperlukan tergantung dari proses dan tujuan produksi yang ingin dicapai. Ilustrasi *eddy diffusion* dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 bisa dilihat bahwa aliran partikel B melewati jalan tanpa hambatan atau dengan kata lain SBE dan pelarut tidak terjadi interaksi yang baik karena peluang terjadinya tumbukan sangat kecil. Beda dengan A dan C. Kedua jenis aliran tak beraturan dan pada kondisi ini dapat terjadi interaksi antara pelarut dan bahan saling bertumbukan lebih baik. Untuk itu perlu dilakukan identifikasi kemungkinan model aliran apa saja yang terjadi selama proses pengadukan lalu

dirancang bagaimana agar model aliran fluida yang dibutuhkan dapat terjadi. Apakah lebih dominan pada aliran A,B, atau C salah satu yang dapat mempengaruhinya adalah model pengaduk.



Gambar 2. Mekanisme *eddy diffusion* pada SBE dan pelarut

Pada proses produksi biodiesel dengan esterifikasi-transesterifikasi *in situ* diinginkan mekanisme pengadukan yang terjadi secara turbulen karena pada kondisi ini metanol/heksana, katalis dan SBE akan saling bertumbukan secara acak atau tidak beraturan (turbulen). Menurut Nagata (1975) aliran turbulen mempunyai gerakan partikel-partikel yang sangat tidak menentu, dengan saling tukar momentum dalam arah melintang yang dahsyat. Sehingga peluang bahan-bahan untuk saling berinteraksi/bereaksi atau saling bertumbukan lebih besar dibandingkan dengan kondisi laminar yang merupakan kondisi fluida bergerak statis dan teratur tanpa saling bersilangan dan membentuk lapisan-lapisan pada dinding reaktor.

McCabe (2004) menyatakan bahwa pemilihan/perancangan pengaduk turbin yang baik harus disesuaikan dengan sifat fisik dari fluida/bahan yang akan diaduk. Fluida tergolong viskositas tinggi, sedang, atau rendah. Pada penelitian ini SBE memiliki tekstur yang padat lembut seperti tepung dan jika tercampurkan dengan metanol yang memiliki viskositas rendah, bentuknya akan menjadi seperti lumpur yang sangat *solid* yang tergolong bahan memiliki viskositas yang sangat tinggi (suspensi padatan), sehingga diperlukan model

pengaduk yang sesuai dengan sifat fisik bahan tersebut agar selama pengadukan terjadi pencampuran (tumbukan) yang paling efektif antara metanol dengan SBE.

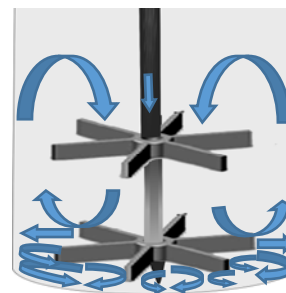
Model pengaduk yang digunakan adalah *five-blade* turbin dan *pitch-blade* turbin. Dari pengukuran dimensi yang telah dilakukan pada pengaduk model *five-blade* turbin yang digunakan diketahui bahwa dimensi model pengaduk tersebut tidaklah sesuai dengan dimensi pengaduk yang baik yang telah McCabe (2004) ditetapkan.

Pengaduk turbin termasuk model *five-blade* pada umumnya memiliki pola aliran yang radial. Pada pola aliran ini disekitarnya akan terjadi daerah turbulensi yang kuat, arus dan geseran yang kuat sehingga dapat memungkinkan mengaduk bahan dengan baik. Namun ada beberapa hal yang perlu diperhatikan pada model pengaduk ini yakni desain dan pisau (*blade*) pengaduk serta dimensinya. Desain dan *blade* pada pengaduk harus disesuaikan dengan suspensi bahan yang ingin diaduk atau dicampur dan dimensi tangki reaktor yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya *dead zone* yaitu daerah dimana bahan/fluida tidak bisa digerakkan oleh aliran pengaduk. Dalam kasus ini dimensi pengaduk model *five-blade* tidak sesuai pada kondisi proses reaksi yang telah berlangsung sehingga dapat menyebabkan kegagalan atau hasil yang kurang baik untuk rendemen maupun kualitas biodiesel yang dihasilkan. Gambar 3 menunjukkan model pengaduk *five-blade* turbin yang digunakan pada proses produksi beserta pola aliran yang dihasilkan selama pengadukan.

Model pengaduk *pitched-blade* turbin yang dirancang berdasarkan dari sifat fisik dan pola aliran dari bahan yang akan diaduk serta pada kecepatan pengadukan yang akan digunakan. Model pengaduk turbin jenis ini menurut McCabe (2004) dapat menghasilkan pola aliran kombinasi selama pengadukan yaitu terjadinya pola aliran radial dan aksial sehingga akan menghasilkan jenis aliran yang turbulen seperti yang diharapkan pada pengadukan dan pencampuran yang terjadi antara SBE dengan methanol. Gambar 4 adalah gambar dari dimensi pengaduk *pitched-blade* turbin.

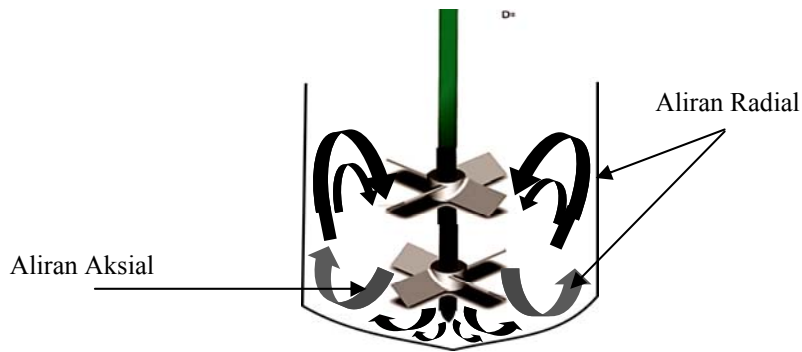


(a)



(b)

Gambar 3. (a) Pengaduk model *five-blade* turbin, (b) Pola aliran model *five-blade* turbin (Sumber: McCabe, 2004)



Gambar 4. Pola aliran *pitched blade* turbin (Sumber: McCabe, 2004)

Hal demikian dapat memungkinkan terjadinya tumbukan (reaksi), transfer massa dan energi lebih efektif sehingga metanol dengan SBE mempunyai peluang saling berinteraksi lebih besar dibandingkan dengan menggunakan pengaduk *five-blade* turbin.

Produksi Biodiesel

Teknik produksi biodiesel pada penelitian ini dengan menggunakan teknik *in situ*. Hal ini lebih baik dibandingkan dengan teknik konvensional karena tidak perlu melakukan ekstraksi dan pemurnian minyak secara terpisah, tetapi proses ekstraksi dan konversi yang terjadi berlangsung secara simultan di dalam reaktor sehingga lebih hemat biaya dan energi. Faktor-faktor seperti waktu, suhu, dan konsentrasi katalis dalam melakukan proses produksi biodiesel mengacu pada penelitian terdahulu.

Pelarut yang digunakan dalam proses esterifikasi-transesterifikasi *in situ* pada penelitian ini adalah metanol. Metanol dipilih karena harganya lebih murah, serta lebih cepat bereaksi, hal ini karena metanol merupakan sumber alkohol dengan rantai yang pendek, sehingga lebih cepat diputus dan bereaksi dengan trigliserida (Ma dan Hanna, 1999). Biodiesel yang dihasilkan dengan menggunakan metanol memiliki kemurnian paling tinggi dibandingkan penggunaan alkohol jenis lainnya seperti etanol, propanol, iso-propanol dan butanol (Haas *et al.*, 2004). Pada perbandingan secara stoikiometri, proses transesterifikasi membutuhkan 3 mol metanol untuk mengkonversi 1 mol trigliserida menjadi 3 mol metil ester dan 1 mol gliserol. Pada reaksi ini terjadi kesetimbangan sehingga reaksi akan bersifat *reversible*. Pada proses transesterifikasi *in situ*, metanol berperan ganda sebagai pelarut dalam proses ekstraksi trigliserida dan sebagai pereaksi pada proses transesterifikasi, oleh karena itu metanol dibutuhkan dalam jumlah yang berlebih sehingga reaksi akan lebih mengarah ke produk. Rasio atau perbandingan metanol yang digunakan dalam suatu proses produksi biodiesel dapat mempengaruhi rendemen biodiesel tersebut.

Penambahan heksana dalam proses produksi biodiesel dilakukan karena dapat mempengaruhi rendemen biodiesel yang diperoleh. Selama proses produksi berlangsung, heksana akan membantu metanol mengeluarkan trigliserida dari dalam SBE. Heksana hanya berfungsi sebagai ekstraktor tetapi tidak berperan pada proses esterifikasi ataupun transesterifikasi. Setelah trigliserida keluar dari SBE, trigliserida akan bereaksi dengan metanol dalam proses transesterifikasi yang menghasilkan metil ester dan gliserol. Penelitian sebelumnya pada proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar oleh Shuit *et al.* (2010) dan Utami (2010), penggunaan heksana sangat berpengaruh terhadap rendemen biodiesel yang dihasilkan. Heksana bertindak sebagai *co-solvent* yang berfungsi untuk membantu metanol mengekstraksi minyak dengan cara meningkatkan transfer massa minyak ke metanol (Shuit *et al.*, 2010). Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan produksi biodiesel dari jarak pagar dengan teknik transesterifikasi *in situ* selama 6 jam. Kondisi proses menggunakan rasio metanol/heksana/bahan sebesar 3:3:1, 4:2:1, dan 5:1:1. Pada rasio metanol/heksana/bahan sebesar 3:3:1 menghasilkan rendemen biodiesel tertinggi yaitu 89,19% dengan kecepatan pengadukan sebesar 600 rpm pada suhu 40°C.

Katalis dalam proses esterifikasi dan transesterifikasi berguna untuk mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi. Pada umumnya ada dua macam katalis yaitu katalis asam dan katalis basa. Katalis basa lebih sering digunakan karena katalis basa lebih cepat bereaksi dan dapat digunakan pada suhu rendah (Georgogianni *et al.*, 2008). Katalis basa yang sering digunakan khususnya pada industri biodiesel adalah KOH dan NaOH. Hal ini karena katalis basa jenis tersebut lebih reaktif dan harganya lebih murah dibandingkan katalis basa lainnya khususnya katalis basa metoksida (NaOCH dan KOCH₃). Pada proses produksi biodiesel yang menggunakan bahan baku (SBE) berkadar asam lemak bebas tinggi harus dengan dua tahap proses yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Proses esterifikasi menggunakan katalis jenis asam H₂SO₄ dilanjutkan reaksi

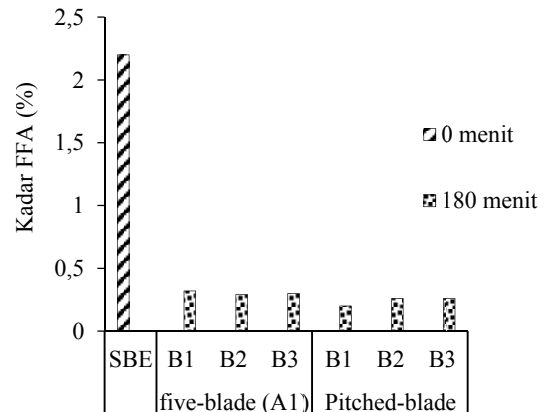
transesterifikasi dengan katalis basa NaOH. Pada penelitian ini konsentrasi katalis asam dan basa yang digunakan sebesar 1,5% terhadap bobot SBE. Konsentrasi tersebut dapat menghasilkan *yield* biodiesel sebesar 93,3% (Deli, 2011).

Waktu reaksi yang digunakan pada penelitian ini berlangsung selama 4 jam. Berturut-turut adalah esterifikasi *in situ* selama 3 jam dilanjutkan transesterifikasi *in situ* selama 1 jam. Waktu reaksi pada esterifikasi-transesterifikasi *in situ* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengekstraksi residu minyak yang terkandung dalam SBE serta mengkonversinya menjadi metil ester. Semakin lama waktu reaksi yang diberikan, maka rendemen biodiesel akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan waktu untuk molekul-molekul reaktan bertumbukan semakin lama, sehingga waktu konversi trigliserida menjadi metil ester lebih tinggi. Namun, jika sudah mencapai titik keseimbangan reaksi maka waktu reaksi tidak berpengaruh pada rendemen metil ester. Jain dan Sharma (2010) mengemukakan bahwa konversi trigliserida menjadi metil ester akan meningkat dengan cepat selama 180 menit pertama hingga mencapai rendemen sebesar 98% dan lebih dari 180 menit waktu tidak berpengaruh nyata terhadap rendemen biodiesel.

Selama proses esterifikasi *in situ* berlangsung, dilakukan pengambilan sampel pada 2 titik waktu yang berbeda yaitu pada waktu 90 menit dan pada waktu 180 menit esterifikasi *in situ* (akhir dari proses esterifikasi *in situ*). Pengujian kadar asam lemak bebas bertujuan untuk mengamati laju penurunan kadar asam lemak bebas residu minyak dalam SBE hingga nilai kadar asam lemak bebas menurun yang mungkin dapat dipengaruhi oleh model pengaduk yang digunakan (*five-blade* dan *pitched-blade*) dan variasi rasio metanol/heksana/bahan (6:0:1, 5:1:1, dan 4:2:1). Kadar asam lemak bebas residu minyak yang terkandung dalam SBE selama esterifikasi 90 menit yang berkisar 0,55-0,78 %. Hasil analisis varian menunjukkan bahwa model pengaduk dengan variasi rasio metanol/heksana/bahan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar asam lemak bebas residu minyak yang terkandung dalam SBE selama esterifikasi 90 menit yang dihasilkan. Hasil analisis varian juga menunjukkan bahwa interaksi antara kedua faktor tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar asam lemak bebas residu minyak yang terkandung dalam SBE selama esterifikasi 90 menit.

Analisis terhadap kadar asam lemak bebas residu minyak yang terkandung dalam SBE selama esterifikasi 180 menit, berkisar 0,20-0,32%. Kadar asam lemak bebas pada residu minyak dalam SBE mengalami penurunan dari nilai kadar asam lemak bebas sebelumnya (esterifikasi 90 menit). Berdasarkan analisis varian bahwa model pengaduk yang digunakan berpengaruh nyata terhadap kadar asam lemak bebas residu minyak yang terkandung dalam SBE selama esterifikasi 180 menit. Hasil

analisis varian menunjukkan bahwa model pengaduk A1 (*pitched-blade* turbin) memiliki perbedaan nyata dengan pengaduk A2 (*five-blade* turbin). Sedangkan variasi rasio metanol/heksana/bahan (B1, B2, dan B3) tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar asam lemak bebas residu minyak yang terkandung dalam SBE selama esterifikasi 180 menit. Pengaruh faktor model pengaduk dan variasi rasio metanol/heksana/bahan terhadap kadar asam lemak bebas dengan esterifikasi 180 menit pada berbagai kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 5.

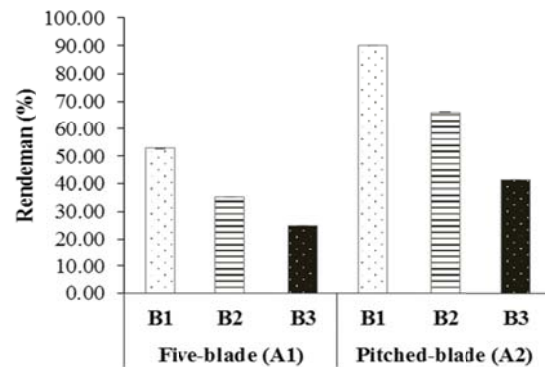


Gambar 5. Kadar asam lemak bebas esterifikasi 180 menit pada berbagai kombinasi perlakuan

Karakteristik Biodiesel

Rendemen

Pengaruh faktor model pengaduk dan variasi rasio metanol/heksana/bahan terhadap rendemen biodiesel pada berbagai kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rendemen biodiesel pada berbagai kombinasi perlakuan

Model pengaduk dan variasi rasio metanol/heksana/bahan mempengaruhi rendemen biodiesel. Pengaduk model *pitched-blade* (A2) dapat bekerja lebih efektif dalam melakukan pengadukan dan pencampuran sehingga terjadi konversi yang lebih baik bila dibandingkan jika

menggunakan pengaduk model *five-blade* (A1). Pengaduk yang baik adalah desain pengaduk yang disesuaikan dengan sifat fisik (viskositas) dari bahan yang akan diaduk dan dimensi pengaduk harus disesuaikan dengan tangki reaktor yang digunakan sehingga selama pengadukan dapat memperkecil kemungkinan atau menghindari terjadinya *dead zone*, dan bahan-bahan akan saling berinteraksi (bertumbukan) dengan sangat efektif secara menyeluruh sehingga terjadi transfer energi dan homogenisasi yang efektif. Rasio metanol/heksana/bahan yang digunakan dalam penelitian ini mempengaruhi rendemen biodiesel. Variasi rasio metanol/heksana/bahan berturut-turut menghasilkan rendemen tertinggi-terendah adalah dengan menggunakan variasi rasio metanol/heksana/bahan 6:0:1 (B1), 5:1:1 (B2), dan 4:2:1 (B3). Hal ini semakin banyak metanol atau semakin sedikitnya heksana yang digunakan pada proses pembuatan biodiesel dapat meningkatkan rendemen biodiesel. Menurut Shuit *et al.* (2010) penggunaan heksana dapat mempengaruhi rendemen minyak (biodiesel) yang dihasilkan karena heksana berfungsi membantu metanol mengekstraksi minyak dengan cara meningkatkan transfer massa minyak ke metanol. Namun pada penelitian ini, heksana tidak menunjukkan pengaruh yang baik pada rendemen yang dihasilkan. Pada Gambar 5 penambahan heksana pada produksi biodiesel akan menyebabkan penurunan rendemen yang dihasilkan. Heksana tidak memberikan pengaruh terhadap peningkatan rendemen pada proses produksi biodiesel yang dilakukan. Hal ini diduga karena kurangnya waktu pada reaksi transesterifikasi yang dibutuhkan untuk melakukan konversi pada minyak yang telah terperangkap oleh pelarut heksana selain itu perpaduan antara variasi rasio pelarut metanol dengan heksana menyebabkan kondisi yang kurang mendukung dalam melakukan konversi karena selama proses berlangsung metanol akan lebih mudah menguap dibandingkan heksana yang memiliki titik didih lebih tinggi (67°C) sehingga selama proses berlangsung metanol yang bekerja

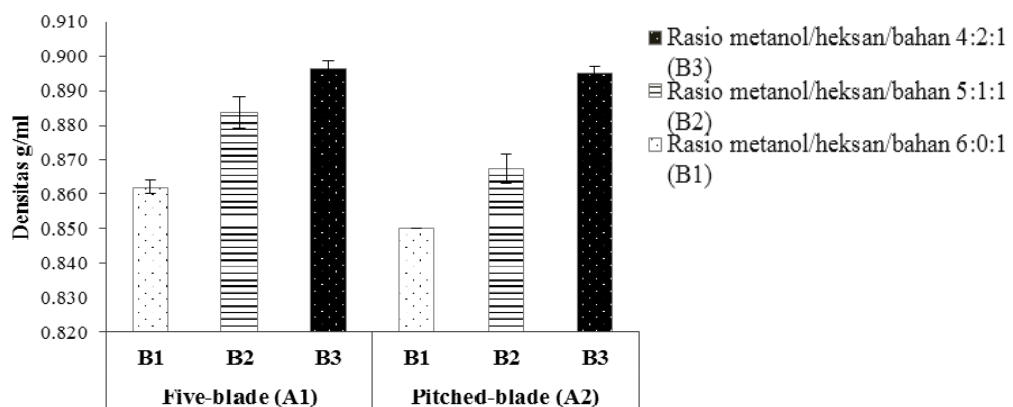
sebagai ekstraktor dan konverter tidak memiliki jumlah yang cukup banyak untuk melakukan konversi menjadi metil ester sementara bahan-bahan yang telah terperangkap di dalam heksana belum sempat terkonversi menjadi metil ester sehingga pada saat pencucian akan mengakibatkan *losses*. Semakin banyak jumlah heksana yang digunakan maka akan semakin rendah rendemen yang akan diperoleh karena akan semakin banyak pula metanol yang akan teruapkan sehingga daya konversi metanol akan semakin berkurang.

Pada proses produksi biodiesel yang dilakukan menggunakan pengaduk model *five-blade* turbin (A1) dengan metanol/heksana/bahan (B1, B2, dan B3) mengalami *losses* yang tinggi pada saat proses pencucian biodiesel yaitu terjadi pembentukan senyawa lain diantara air cucian dan biodiesel. Pada perlakuan menggunakan pengaduk model *five-blade* turbin (A1) menghasilkan *losses* antara 40-75 mL sedangkan pada pengaduk model *pitched-blade* turbin (A2) mengalami *losses* bekisar 4-31 mL pada proses pencucian. Hal ini diduga selama proses produksi berlangsung tidak semua trigliserida dan asam lemak bebas terkonversi seutuhnya menjadi metil ester dengan baik sehingga pada saat pencucian timbul permasalahan (penyabunan) yang menyebabkan rendemen biodiesel rendah.

Densitas

Pengaruh faktor model pengaduk dan variasi rasio metanol/heksana/bahan terhadap densitas biodiesel pada berbagai kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 7.

Nilai dari densitas biodiesel yang dihasilkan dipengaruhi oleh jumlah tri-, di-, dan monogliserida dalam biodiesel. Hal ini berarti kombinasi perlakuan A2/B1 yang menghasilkan densitas biodiesel paling rendah terjadi konversi trigliserida menjadi metil ester yang lebih baik jika dibandingkan dengan kombinasi perlakuan yang menghasilkan densitas biodiesel yang lebih tinggi.



Gambar 7. Densitas biodiesel pada berbagai kombinasi perlakuan

Disamping itu biodiesel yang memiliki nilai densitas yang lebih tinggi secara otomatis akan memiliki viskositas yang tinggi pula karena memiliki berat molekul yang lebih besar dan jika memungkinkan biodiesel yang berdensitas tinggi akan memiliki bilangan penyabunan yang lebih rendah dibandingkan biodiesel yang berdensitas rendah karena masih mengandung banyak komponen-komponen *non*-metil ester seperti trigliserida, digliserida, maupun monogliserida.

Menurut Standarisasi Nasional Indonesia (BSN, 2006) densitas biodiesel yaitu 0,850-0,89 mg/mL. Nilai densitas yang didapatkan pada penelitian ini hanya empat perlakuan yang memenuhi SNI yaitu pada perlakuan A1/B1, A1/B2, A2/B1, dan A2/B2 dengan nilai densitas berturut-turut 0,862, 0,884, 0,850, dan 0,867 mg/mL. Sedangkan densitas yang tidak memenuhi SNI adalah pada perlakuan A1/B3 dan A2/B3 sebesar 0,896 dan 0,895 mg/mL. Densitas biodiesel dari bahan baku minyak goreng bekas adalah 0,886 mg/mL (Kheang *et al.*, 2006) dan dari bahan baku CPO adalah 0,875 mg/mL. Densitas metil ester dipengaruhi oleh berat molekul, kadar air dan asam lemak bebas dalam biodiesel. Model pengaduk yang digunakan dapat mempengaruhi karakteristik atau nilai densitas biodiesel.

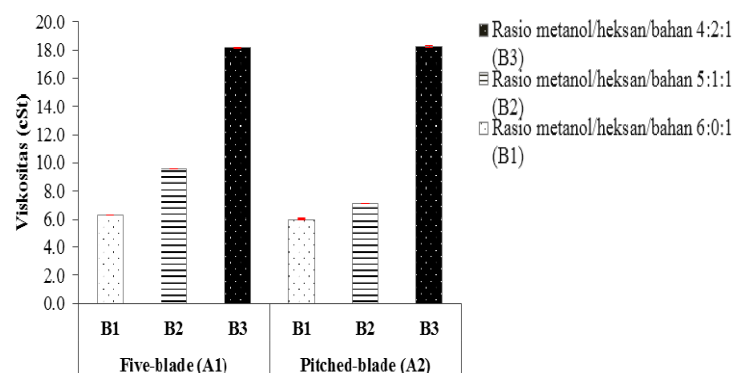
Peningkatan rasio metanol terhadap bahan akan meningkatkan laju reaksi transesterifikasi dan meningkatkan jumlah trigliserida yang terkonversi menjadi metil ester sehingga menurunkan nilai densitas biodiesel. Selain konversi reaksi, nilai densitas dipengaruhi oleh panjang rantai karbon dan derajat kejenuhan asam lemak penyusun biodiesel. Densitas biodiesel menurun seiring dengan meningkatnya panjang rantai karbon dan derajat kejenuhan.

Viskositas

Pengaruh faktor model pengaduk dan variasi rasio metanol/heksana/bahan terhadap viskositas biodiesel pada berbagai kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 8.

Pada penelitian yang dilakukan, ternyata selain mempengaruhi rendemen dan densitas, pelarut non-polar (heksana) juga mempengaruhi viskositas biodiesel yang dihasilkan dimana semakin tinggi rasio heksana yang digunakan, viskositas yang dihasilkan pun semakin tinggi. Hal ini karena komponen dominan penyusun dari biodiesel yang menggunakan heksan adalah senyawa-senyawa non-polar (non trigliserida) yang memiliki berat molekul yang lebih besar. Hal ini awalnya disebabkan karena pada perpaduan antara variasi rasio pelarut metanol dengan heksana adalah kondisi yang kurang mendukung dalam melakukan konversi karena selama proses esterifikasi-transesterifikasi *in situ* berlangsung metanol akan lebih mudah menguap dibandingkan heksan yang memiliki titik didih lebih tinggi (67°C) sehingga selama proses berlangsung metanol yang bekerja sebagai ekstraktor dan konverter tidak memiliki jumlah yang cukup banyak untuk melakukan konversi menjadi metil ester sementara bahan-bahan yang telah terperangkap didalam heksana (dominan non-polar) belum sempat terkonversi menjadi metil ester sehingga pada saat pencucian akan mengakibatkan *losses* yang mengakibatkan rendemen rendah dan memiliki viskositas yang lebih besar.

Selain faktor pengaduk *pitched-blade* yang lebih sesuai dan mendukung pada proses pengadukan, diduga pada proses produksi biodiesel SBE ini pelarut metanol tanpa campuran heksana lebih cocok digunakan dalam melakukan ekstraksi pada residu minyak dalam SBE. Pada Gambar 8 terlihat bahwa penambahan heksana sangat mempengaruhi viskositas biodiesel yang dihasilkan.



Gambar 8. Viskositas biodiesel pada berbagai kombinasi perlakuan

Heksana akan melarutkan senyawa-senyawa pada SBE yang bersifat lebih non-polar sehingga akan dapat mempengaruhi viskositas yang lebih tinggi. Selain itu menurut Knothe dan Steidley (2005) konversi reaksi yang tidak sempurna menyebabkan adanya senyawa mono, di dan trigliserida dalam biodiesel. Keberadaan senyawa-senyawa tersebut memberikan kontribusi terhadap nilai viskositas kinematik. Semakin banyak jumlah senyawa mono, di dan trigliserida dalam biodiesel maka akan semakin besar nilai viskositas kinematik biodiesel sehingga selain heksana akan melarutkan senyawa-senyawa yang lebih bersifat non-polar, diduga ketidakefektifan heksana berinteraksi dengan metanol menjadi penyebab viskositas yang tinggi. Hal ini diduga karena heksana memiliki titik didih yang lebih tinggi yaitu 69°C sementara suhu selama proses produksi digunakan sebesar 65°C sehingga sulit untuk heksana mencapai energi aktivasi optimal dan menyebabkan transfer energi terhadap metanol jadi terhambat sehingga masih banyak komponen mono, di dan trigliserida yang belum terkonversi maksimal menjadi metil ester.

Biodiesel merupakan campuran dari ester-ester penyusun asam lemak yang masing-masing komponennya berpengaruh terhadap viskositas biodiesel. Minyak hasil *recovery* tanah pemucat bekas mengandung 45,2% asam palmitat. Knothe dan Steidley (2005) menyatakan bahwa viskositas meningkat seiring dengan panjang rantai asam lemak dan derajat kejenuhan. Seharusnya biodiesel yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki viskositas yang lebih rendah dibandingkan dengan biodiesel minyak jarak karena asam palmitat sebagai penyusun utama minyak memiliki 14 atom karbon. Sedangkan asam lemak utama penyusun minyak jarak adalah asam oleat dan linoleat yang memiliki 18 atom karbon. SBE yang digunakan merupakan limbah yang diperoleh dari proses *bleaching* pada CPO. Selain sisa minyak yang berwarna merah yang terkandung dalam SBE, kemungkinan besar masih terdapat bahan-bahan lain yang bukan minyak. Kemungkinan besar metanol/heksana mengekstraksi minyak dan zat-zat lain yang mungkin tidak dapat terpisahkan dari senyawa biodiesel yang diperoleh.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa model pengaduk dan variasi rasio metanol/heksana/bahan, dan interaksi antara faktor model pengaduk dan rasio metanol/heksana/bahan memberikan pengaruh yang nyata terhadap rendemen, densitas, viskositas, dan kadar gliserol total yang dihasilkan. Sedangkan terhadap kadar ester alkil, bilangan penyabunan, dan bilangan asam model pengaduk, rasio metanol/heksan serta interaksi keduanya tidak memberikan pengaruh yang nyata.

Kondisi proses produksi biodiesel dengan metode esterifikasi-transesterifikasi *in situ* terbaik adalah dengan menggunakan model pengaduk *pitched-blade* turbin (A2) dan rasio metanol/heksana/bahan yang digunakan 6:0:1 (v/v/b) (B1). Interaksi tersebut selama proses esterifikasi *in situ* mampu menurunkan kadar asam lemak bebas hingga 0,2% dan dapat menghasilkan rendemen biodiesel sebesar 90,17 %, densitas 0,85 mg/mL, viskositas 6 cSt, bilangan asam 0,77 mg KOH/g, bilangan penyabunan 287,59 mg KOH/g, kadar gliserol total 0,002%, kadar ester alkil 99,76% dan kadar air dan sedimen (negatif).

Saran

Penentuan rasio metanol yang digunakan sebaiknya disesuaikan dengan kadar minyak dalam tanah pemucat bekas yang digunakan. Semakin tinggi kadar minyak dalam tanah pemucat bekas maka semakin tinggi rasio metanol yang dibutuhkan. Selain itu kecepatan pengadukan juga perlu disesuaikan lagi terhadap bahan yang akan diaduk. Semakin cepat putaran yang terjadi di dalam tangki reaktor diduga dapat terjadi efisiensi yang lebih baik terhadap waktu maupun hasil produksi. Aliran yang terjadi di dalam reaktor diusahakan menghasilkan sifat aliran yang turbulen (acak). Sehingga untuk kedepannya diperlukan pemakaian *baffle* (sekot) dalam reaktor dengan ukuran yang disesuaikan dimensi tangki karena dapat menghasilkan pencampuran (tumbukan) yang lebih baik. Untuk perlakuan menggunakan tambahan pelarut heksana sebaiknya dilakukan pada suhu yang lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standarisasi Nasional, 2006. Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 04-7182: 2006 tentang Biodiesel. Jakarta: BSN.
- Deli NA. 2011. Disain proses produksi biodiesel dari residu minyak sawit dalam tanah pemucat bekas. [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Freedman B, Pryde EH, dan Mounts TL. 1984. *Variables* affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *J Am Oil Chem Soc.* 61:1638-1643.
- Georgogianni KG, Kontaminas MG, Pomonis PJ, Avlonitis D, Gergis V. 2008. Conventional and *in situ* transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel. *Fuel Proces Technol.* 89:503-509.
- Haas MJ, Karen MS, William NM, Thomas AF. 2004. *In situ* alkaline transesterification: an effective method for the production of fatty acid esters from vegetable oils. *J Am Oil Chem Soc.* 81: 83-89.

- Jain S dan Sharma MP. 2010. Kinetics of acid base catalized transesterification of jatropha curcas oil. *Biores Technol.* 101: 7701-7706.
- Kheang LS, Cheng SF, Choo YM, Ma AN. 2006a. A study of residual oils recovery from spent bleaching earth: their characteristics and applications. *Am J App Sci.* 3(10): 2063-2067.
- Knothe G dan Steidley KR. 2005. Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. *Fuel.* 84: 1059-1065.
- Ma F dan Hanna MA. 1999. Biodiesel Production.: A Review. *Biores Technol.* 70:77-82.
- Mc Cabe WL. 2004. *Unit Operation Of Chemical Engineering.* 3rd Edition. Tokyo: McGraw-Hill Young.
- Qian J, Wang F, Liu S, Yun Z. 2008. In situ alkaline transesterification of cottonseed oil for production of biodiesel and nontoxic cottonseed meal. *Biores Technol.* 99:9009-9012.
- Nagata S. 1975. *Mixing Principles and Applications,* New York: John Wiley&Sons.
- Shiu PJ, Gunawan S, Hsieh WH, Kasim NS, Ju YH. 2010. *Biodiesel production from rice bran by a two-step in situ process.* *Biores Technol.* 101:984-989.
- Utami SW. 2010. Kajian proses produksi biodiesel melalui transesterifikasi in situ biji jarak pagar (*Jatropha curcas L.*) pada berbagai kondisi operasi. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Young FVK. 1987. *Refining and Fractination of Palm Oil. Pages 39-69 In F.D. Gustone, Ed. Palm Oil: Critical Reports On Applied Chemistry.* New York: John Wiley and Sons.