



PROSIDING
SEMINAR
TAHUNAN
MAKSI

ISBN: 978-602-14669-0-2

PENGUATAN
PENELITIAN &
PENGEMBANGAN
INDUSTRI
KELAPA SAWIT
YANG BERKELANJUTAN

Editor:

Jono M. Munandar

Muhammad Nakhjib

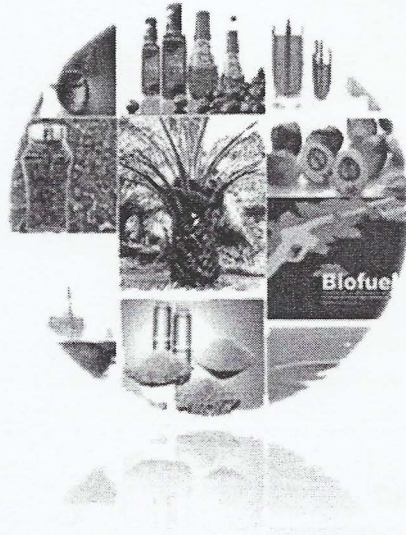
Dede Saputra

Iman Sulaeman

Elviana



PROSIDING SEMINAR TAHUNAN MAKSI 2013
PENGUATAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
KELAPA SAWIT YANG BERKELANJUTAN



Editor :

Jono M. Munandar
Muhammad Nakhjib
Dede Saputra
Iman Sulaeman
Elviana

DISELENGGARAKAN OLEH :



DIDUKUNG OLEH :



PT DAMI MAS SEJAHTERA
DAMI MAS SEED ESTATE



BANK BRI
Melayani Dengan Setulus Hati



2013

PENGUATAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI KELAPA SAWIT YANG BERKELANJUTAN

**Prosiding Seminar Tahunan MAKSI
Bogor, 25 September 2013, IICC**

Editor:

Jono M. Munandar
Muhammad Nakhjib
Dede Saputra
Iman Sulaeman
Elviana

Design cover:

Iman Sulaeman

Diterbitkan oleh:

Masyarakat Perkelapa-Sawitan Indonesia (MAKSI)

Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan

ISBN: 978-602-14669-0-2

Copyright©2013

Masyarakat Perkelapa-Sawitan Indonesia (MAKSI)

DAFTAR ISI

Kata Pengantar.....	i
Daftar Isi.....	ii
Sekilas Tentang Masyarakat Perkelapa-Sawitan Indonesia (MAKSI).....	1
Susunan Acara.....	6
Sambutan Ketua Umum MAKSI.....	8
Sambutan Rektor IPB	10
Sidang Pleno	13
Strategi Pengembangan Litbang Kelapa Sawit dalam Mengantisipasi Investasi Industri Kelapa Sawit Berkelanjutan di dalam dan luar negeri (Dr. Tony Liwang, PT Smart Tbk, Sinarmas Agribusiness and Food).....	14
Kebijakan Pendanaan Industri Kelapa Sawit yang Berkelanjutan dalam Menghadapi Tekanan Global (Dr. Aviliani- Komisari BRI)	68
Kebijakan Pembangunan Pusat Inovasi Kelapa Sawit di Sei Mangkei dalam Menunjang Pengembangan Industri Kelapa Sawit yang Berdaya Saing Global (Dr. Dedi Mulyadi- Kementerian Perindustrian RI)	83
Rangkuman Diskusi	98
Sidang Paralel Bidang Industri Hulu dan Lingkungan Kelapa Sawit	103
• Investigation of Bacterial Community Structure in Ganoderma Boninense Endemic Area	104
• Bio-Fungicide Application on Oil Palm Seedling Using Antagonist Microbe for Ganoderma	110
• The Effect Of Plant Growth Promoting Microbes Inoculation On Oil Palm Clonal Growth	116
• Respon Morfofisiologis Varietas Kelapa Sawit Terhadap Cekaman Aluminium	122
• Lama Perendaman Eksplan Daun Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) dalam Larutan Glukosa dan Pengaruhnya terhadap Kalogenesis dan Embriogenesis	133
• Respons Pembentukan Kalus dan Embrionatik pada Eksplan Daun Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) terhadap Periode Subkultur	141
• Penyehatan Tanaman Kelapa Sawit Terinfeksi Ganoderma di Rumah Kaca Menggunakan Ganor, Fungisida Organik Berbahan Baku Lokal	149
• Utilization of Empty Fruit Bunches and Bunch Ash as Ameliorant on Oil Palm (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) Seedling Growth in Main Nursery	157
• Karakteristik Glulam dari 1/3 Bagian Terluar Batang Kelapa Sawit	163
• Effect of Pre-Compression on Phenol Formaldehyde Resin Impregnation of Inner Parts of Oil Palm Stem	171

Sidang Pararel Bidang Industri Hilir dan Lingkungan Kelapa Sawit.....	178
• Validasi Metode Analisis Beta Karoten dengan HPLC-MWD pada Matriks Sampel Minyak Sawit	189
• Comparative Study on Catalysis Performance of Whole-Cell Lipase and Commercial Lipase as Biocatalyst for Non-Alcohol Route of Biodiesel Synthesis	189
• Application of Microbial Consortia for Direct Bioconversion of Palm Oil Mill Effluent Under Aerobik Condition	196
• Prediksi Penurunan Kualitas Minyak Goreng Kelapa Sawit Menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopi dengan Analisis Multivariat	204
• Desain Mobile Palm Sterilizer (Mopast) pada Pengolahan Minyak Sawit	219
• Pengaruh Orientasi Lapisan Zephyr terhadap Kualitas Papan Zephyr Pelepeh Sawit	230
• Kaji-Banding Life Cycle Assessment (LCA) Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis</i>) dan Jarak Pagar (<i>Jatropha curcas</i> L.) sebagai Bahan Baku Biodiesel di Indonesia	238
• Produksi Biodiesel dari Minyak Sawit Low-Grade:Efektivitas Katalis Padat Siliko Organik Asam Polisulfonat pada Sintesis Satu Tahap Acid-Transesterifikasi Minyak Sawit Low-Grade	251
• Bioavtur Production Process from Palm Oil Based Through Hydrogenation and Catalytic Cracking	256
• Produksi Metil Ester Sulfonat (MES) dari CPO Parit	262
• Proses Reaktivasi Spent Bleaching Earth Sebagai Adsorben untuk Pemurnian Biodiesel dan Crude Palm Oil	274
• Penggunaan Model Impeler Berbeda pada Produksi Biodiesel dari Residu Minyak Dalam SBE Secara In Situ	397
• The Optimation of Pulp Production Using Formacell Method from Empty Oil-Palm Bunches (EOPB)	314
 Sidang Pararel Sosial, Ekonomi, Bisnis dan Manajemen Kelapa Sawit	 325
• Analisis Beban Kerja pada Proses Produksi Crude Palm Oil di Pabrik Minyak Sawit dengan Kapasitas 50 ton TBS/jam	326
• Menuju Kebijakan Bea Keluar CPO yang Lebih Proporsional	343
• Analisis Daya Saing Minyak Sawit Indonesia	366
• The Profil of Intellectual Property Right on Global Palm Oil Industry and Its Implication for The Development of Palm Oil Industrial Clusters in Indonesia	380
• A Study on The Potency of Electrical Energy Production and Greenhouse Gas Reduction from Palm Oil Mill Effluent (POME) (A Case Study In Lampung Province)	389
• Analisis Kesenjangan Industri Asam Lemak dan Alkohol Lemak Berbasis Minyak Kelapa Sawit di Indonesia dan Proyeksi Produksi dan Konsumsinya (2013-2022)	498
• Shocks and Risk Coping Strategies Among Oil Palm Smallholders: Does Contract Farming Play a Role?	409
• Biodiesel Productiono Residual Oil Contined on Spent Bleaching Earth by In Situ Tranesterification	425
• Strategi Pengembangan Klaster Industri Kelapa Sawit di Kalimantan Timur	435
• Strategi Pengembangan Klaster Industri Kelapa Sawit Indonesia Berbasis Konektivitas Perdagangan Internasional	449
Makalah Poster	458
• Teknik Immobilisasi Enzim untuk Peningkatan Stabilitas Lipase dan Aplikasinya pada Industri Pangan Berbasis CPO	459

- *Strategi Rantai Pasok Kelapa Sawit Berkelanjutan di Provinsi Riau*467
- *Pembuatan Papan Partikel dari Pelepah Sawit dengan Perekat Alami*475
- *Pemanfaatan Batang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Kayu Lapis* 483
- *Embriogenesis Somatik dan Regenerasi Tunas In Vitro Pada Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis JACQ.)*490

Susunan Panitia.....496

PENGUNAAN MODEL IMPELER BERBEDA PADA PRODUKSI BIODIESEL DARI RESIDU MINYAK DALAM SBE SECARA IN SITU

The Application of Different Impellers Models on Biodiesel Production from Oil Residual in Sbe by In Situ Process

Ani SURYANI, Suprihatin, dan M Rifky Rachmad LUBIS

Department of Agroindustrial Technology, Faculty of Agricultural Technology and Engineering

Bogor Agricultural University, Dramaga Campus, P.O. Box 220 Bogor 16002 West Java, Indonesia

Corresponding author: mrifkylubis@gmail.com

ABSTRACT

The high content of crude palm oils in spent bleaching earth (SBE) represents a high potential as raw material in biodiesel and 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 lead to improving the yield of biodiesel. The research was carried out to know the best impeller performance (five-blade turbine and pitched-blade turbine) and ratio variation of solvent methanol/hexane/material with focus on obtaining the best yield and quality of biodiesel. Results of analysis variance showed the best condition of in situ process is the use of pitched-blade turbine and ratio variation of methanol/hexane/materials 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 287.59 of mg KOH/g, total glycerol content of 0.21% and ester alkyl content of 99.76%.

Keywords: *biodiesel, five blade turbin impeller, pitched blade turbin, in situ esterification and transesterification process, spent bleaching earth (SBE).*

ABSTRAK

Tingginya kandungan minyak sawit dalam tanah pemucat bekas (SBE) sangat potensial 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 *impeller* mana yang terbaik (*five-blade* turbin dan *pitched-blade* turbin) dan variasi rasio pelarut metanol/heksan/bahan dalam mendapatkan rendemen dan mutu biodiesel yang terbaik. Hasil analisis ragam menunjukkan kondisi proses *in situ* yang terbaik adalah dengan menggunakan *impeller* model *pitched-blade* turbin dan variasi rasio metanol/heksan/bahan 6:0:1 pada suhu 65°C dengan kecepatan 650 rpm. Kondisi ini menghasilkan rendemen 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, impeler *five-blade* turbin, *pitched-blade* turbin, proses esterifikasi dan transesterifikasi *in situ*, tanah pemucat bekas (SBE).

PENDAHULUAN

Biodiesel secara umum adalah bahan bakar mesin diesel yang ramah lingkungan dan terbarukan atau secara khusus merupakan bahan bakar mesin diesel yang terdiri atas ester alkil dari asam-asam lemak. Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati, minyak hewani atau dari minyak goreng bekas/daur ulang. Bahan baku biodiesel yang berpotensi besar di Indonesia untuk saat ini adalah CPO. Produksi CPO khususnya di Indonesia sangat besar sehingga memicu para penggerak industri hilir yang memanfaatkannya menjadi produk yang lebih bermanfaat salah satunya adalah minyak goreng. Proses pembuatan minyak goreng adalah dengan melakukan pemurnian pada CPO dimana CPO kasar yang masih mengandung bahan-bahan pengotor yang tidak diinginkan harus dikenakan proses pemurnian meliputi *degumming*, netralisasi, *bleaching* dan dilanjutkan dengan deodorisasi lalu fraksinasi hingga akhirnya diperoleh fraksi olein (minyak goreng) dan stearin (margarin). Pada Proses *bleaching* (pemucatan) CPO menggunakan *bleaching earth*. Proses ini bertujuan untuk memucatkan warna CPO menjadi lebih bening dan jenis *bleaching earth* yang biasa digunakan adalah bentonit dengan kadar antara 0,5% hingga 2% dari massa CPO (Young, 1987). Diasumsikan pada tahun 2011 CPO yang digunakan untuk membuat minyak goreng dan turunannya sebesar 4,51 juta ton, maka dalam proses pemurnian CPO diperlukan *bleaching earth* sebesar 113.490 ton per tahun.

Seiring berkembangnya industri minyak nabati, kebutuhan akan *bleaching earth* khususnya bentonit setiap tahun meningkat. Namun disisi lain bentonit tidak dapat diperbaharui dan akan menimbulkan limbah yang banyak dan berpotensi sebagai bahan pencemar lingkungan. Pada dasarnya *spent bleaching earth* (bentonit bekas) masih mengandung 20-30% minyak nabati (Young, 1987). Tingginya kandungan minyak nabati dalam *spent bleaching earth* sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai biodiesel.

Esterifikasi atau transesterifikasi *in situ* adalah proses ekstraksi minyak dan reaksi esterifikasi atau transesterifikasi 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* yang berlangsung juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bahan baku, jenis pelarut, rasio pelarut, jenis dan konsentrasi katalis, waktu reaksi, suhu reaksi, kecepatan pengadukan dan model impeler. Model desain impeler yang digunakan mempunyai peranan penting selama proses ekstraksi dan konversi berlangsung. Untuk mendapatkan pengadukan dan pencampuran efektif dan efisien, model impeler harus disesuaikan terhadap sifat fisik bahan yang diaduk dan juga dimensi impeler disesuaikan terhadap reaktor yang digunakan (McCabe, 2004).

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

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *spent bleaching earth* (bentonit bekas) diperoleh dari PT. Asian Agri Jakarta. Bahan lainnya antara lain metanol, KOH, heksan, 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 liter, impeller *five-blade* turbin dan *pitched-blade* turbin, 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 *Spent Bleaching Earth* (SBE)

Tahap untuk mengetahui karakteristik SBE sebelum dilakukan proses produksi biodiesel sekaligus untuk menentukan tahapan produksi metode *in situ* yang dilakukan. Analisis yang dilakukan meliputi kadar air, kadar asam lemak bebas dan kadar lemak (SNI, 1998).

1. Persiapan Impeller

Pada penelitian ini digunakan model impeler *five-blade* dan *pitched-blade*. Letak perbedaan antara kedua jenis impeler tersebut yakni pada bentuk, dimensi, dan kemiringan dari pisau (*blade*) impeler. Impeler model *five-blade* turbin adalah impeler yang sudah siap pakai tersedia di laboratorium teknologi kimia, sedangkan pada model *pitched-blade* turbin adalah impeler yang sengaja dirancang sesuai dengan sifat fisik dari bahan yang akan diaduk seperti viskositas ataupun tingkat kepadatan bahan. Setelah itu dilakukan perhitungan dimensi tabung reaktor yang akan disinkronisasi dengan data dimensi impeler yang akan dibuat.

2. Proses Produksi Biodiesel

Proses produksi biodiesel dilakukan dengan esterifikasi-transesterifikasi *in situ*. Esterifikasi *in situ* dilakukan dengan mereaksikan 1000 gram SBE dengan metanol, heksan, dan H_2SO_4 metanolik. Proses ini berlangsung di dalam reaktor berkapasitas 10 liter. Perbandingan jumlah metanol/heksan/bahan yang digunakan adalah 6/0/1, 5/1/1, dan 4/2/1 (v/v/b). Jumlah katalis H_2SO_4 yang ditambahkan sebanyak 1,5% (v/b). Campuran ini akan diaduk menggunakan model impeler *five-blade* turbin dan *pitched-blade* turbin secara bergantian yang dilakukan dengan kecepatan pengadukan sebesar 650 rpm pada suhu 65 °C. Selama esterifikasi *in situ* berlangsung 3 jam dilakukan pengambilan sampel pada dua titik waktu (90 menit dan 180 menit esterifikasi). 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 akan diekstrak kembali menggunakan Soxhlet apparatus untuk menghitung kadar lemak ampas dan komponen non-trigliserida yang tidak terekstrak.

3. Analisis Biodiesel

Biodiesel dianalisis untuk mengetahui karakteristik biodiesel tersebut. Analisis yang dilakukan adalah 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 akan di analisis, meliputi kadar air, kadar asam lemak bebas dan kadar lemak. Hasil analisis karakteristik SBE dapat dilihat pada Tabel 1.

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 kondisi ini akan terjadi reaksi hidrolisis yaitu 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 (Zhang *et al*, 2003).

Tahap Persiapan Impeller

Model impeler turbin yang digunakan dalam penelitian ini adalah model *five-blade* turbin dan *pitch-blade* turbin. Pada impeler *five-blade* dilakukan perhitungan untuk menentukan apakah model ini sesuai dengan standar atau tidak. Perhitungan dilakukan terhadap dimensi impeler *five blade* turbin yakni dengan melakukan penyesuaian terhadap dimensi reaktor yang digunakan. Gambar 1 merupakan dimensi dari reaktor yang digunakan selama proses produksi.

Dari pengukuran dimensi yang telah dilakukan pada impeler model *five-blade* turbin yang digunakan diketahui bahwa dimensi model impeler tersebut tidaklah sesuai dengan dimensi impeler yang baik yang telah McCabe (2004) tetapkan. Gambar 2 merupakan gambar dari dimensi impeler *five-blade* turbin.

Model impeler *pitched-blade* turbin sengaja dirancang berdasarkan dari sifat fisik dan pola aliran dari bahan yang akan diaduk serta pada kecepatan pengadukan yang akan digunakan. Model impeler 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 3 adalah gambar dari dimensi impeler *pitched-blade* turbin.

Tahap Produksi Biodiesel

Teknik produksi biodiesel pada penelitian ini dengan menggunakan teknik *in situ*. Teknik ini lebih baik dibandingkan dengan teknik konvensional karena tidak perlu melakukan ekstraksi dan pemurnian minyak secara terpisah. Melainkan 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 Kusumaningtyas (2011).

Pada penelitian ini proses produksi biodiesel dilakukan dengan dua tahap proses yaitu esterifikasi *in situ* setelah itu dilanjutkan dengan transesterifikasi *in situ*. Proses esterifikasi *in situ* dilakukan selama 3 jam dilanjutkan transesterifikasi *in situ* selama 1 jam. Pada penelitian Kusumaningtyas (2011) melakukan proses produksi biodiesel dari residu minyak dalam tanah pemucat bekas dengan menggunakan metanol sebagai pelarut. Proses produksi dilakukan dengan dua tahap yaitu esterifikasi *in situ* selama 3 jam dilanjutkan transesterifikasi *in situ* 1 jam pada suhu 65°C dengan kecepatan pengadukan 600 rpm. Pada kondisi proses tersebut diperoleh *yield* biodiesel sebesar 99,55%.

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. Kusumanigtyas (2011) telah melakukan ekstraksi dengan metode *in situ* pada tanah pemucat bekas, digunakan rasio metanol yang berbeda-beda antara lain 2:1 (v/b), 4:1 (v/b), dan 6:1 (v/b), *yield* biodiesel tertinggi (99,5%) diperoleh dengan menggunakan perlakuan rasio metanol terhadap bahan sebesar 6:1 (v/b).

Penambahan heksan dalam proses produksi biodiesel dilakukan karena dapat mempengaruhi rendemen biodiesel yang diperoleh. Selama proses produksi berlangsung, heksan akan membantu metanol mengeluarkan trigliserida dari dalam SBE. Heksan 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.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya tentang proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar oleh Shuit *et al.*, (2010) dan Utami (2010), dapat dilihat bahwa penggunaan heksan sangat berpengaruh terhadap rendemen biodiesel yang dihasilkan. Heksan bertindak sebagai *co-solvent* yang berfungsi untuk membantu metanol mengekstraksi minyak dengan cara meningkatkan transfer massa minyak ke metanol (Shuit *et al.*, 2010). Yulianingtyas (2011) melakukan produksi biodiesel dari jarak pagar dengan teknik

transesterifikasi *in situ* selama 6 jam. Kondisi proses menggunakan rasio metanol/heksan/bahan sebesar 3:3:1, 4:2:1, dan 5:1:1. Pada rasio metanol/heksan/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 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.

Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap kehomogenan antara pelarut dengan bahan. Penelitian Nouredini dan Zhu (1997) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan terhadap *yield* yang dihasilkan pada kecepatan pengadukan 150-300 rpm akan tetapi antara 300 dan 600 rpm perbedaannya hanya sedikit. Umumnya transesterifikasi *in situ* dilakukan pada 600 rpm (Shiu *et al.*, 2010). Pada penelitian ini dilakukan pengadukan dengan kecepatan 650 rpm. Penelitian sebelumnya yang dilakukan Kusumaningtyas (2011) yang berjudul proses esterifikasi transesterifikasi *in situ* minyak sawit dalam tanah pemucat bekas untuk proses produksi biodiesel menggunakan kecepatan pengadukan sebesar 650 rpm menghasilkan rendemen biodiesel sebesar 99,55%.

Suhu yang digunakan pada penelitian ini yaitu 65°C. Suhu ini dipilih karena mendekati titik didih pelarut heksan (67°C). Semakin tinggi suhu, maka semakin banyak energi yang digunakan reaktan untuk saling bertumbukan dalam mencapai energi aktivasi. Suhu 65°C digunakan oleh Kusumaningtyas (2011) dalam produksi biodiesel dari residu minyak dalam tanah pemucat bekas (SBE). Penelitian tersebut dapat menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 99,5%.

Selama proses esteifikasi *in situ* berlangsung, dilakukan pengambilan sampel pada 2 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 impeler yang digunakan (*five-blade* dan *pitched-blade*) dan variasi rasio metanol/heksan/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 %. Berdasarkan hasil analisis varian dan uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa model impeler dengan variasi rasio metanol/heksan/bahan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar asam lemak bebas residu minyak yang terkandung dalam SBE selama esterifikasi 90 menit yang dihasilkan. Hasil pengujian Duncan 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 impeler yang digunakan berpengaruh nyata terhadap kadar asam lemak bebas residu minyak yang terkandung dalam SBE selama esterifikasi 180 menit. Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa model impeler A1 (*pitched-blade* turbin) memiliki perbedaan nyata dengan impeler A2 (*five-blade* turbin). Sedangkan diantara variasi rasio metanol/heksan/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 impeler dan variasi rasio metanol/heksan/bahan terhadap kadar asam lemak bebas esterifikasi 180 menit pada berbagai kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4.

Rendemen dan Karakteristik Biodiesel

Rendemen

Pengaruh faktor model impeler dan variasi rasio metanol/heksan/bahan terhadap rendemen biodiesel pada berbagai kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 5.

Model impeler dan variasi rasio metanol/heksan/bahan mempengaruhi rendemen biodiesel. Impeler model *pitched-blade* (A2) dapat bekerja lebih efektif dan efisien dalam melakukan pengadukan dan pencampuran yang sehingga terjadi konversi yang lebih baik bila dibandingkan dengan impeler model *five-blade* (A1). Impeler yang baik adalah desain impeler yang disesuaikan dengan sifat fisik (viskositas) dari bahan yang akan diaduk dan dimensi impeler harus disesuaikan dengan tangki reaktor yang digunakan sehingga selama pengadukan dapat memperkecil kemungkinan atau menghindari terjadinya *dead zone*, dengan begitu bahan-bahan akan saling berinteraksi (bertumbukan) dengan sangat efektif secara menyeluruh sehingga terjadi transfer energi dan homogenisasi yang efektif. Rasio metanol/heksan/bahan yang digunakan dalam penelitian ini mempengaruhi rendemen biodiesel. Variasi rasio metanol/heksan/bahan berturut-turut menghasilkan rendemen tertinggi-terendah adalah dengan menggunakan variasi rasio metanol/heksan/bahan 6:0:1 (B1), 5:1:1 (B2), dan 4:2:1 (B3). Hal ini semakin banyak metanol atau semakin sedikitnya heksan yang digunakan pada proses pembuatan biodiesel

dapat meningkatkan rendemen biodiesel. Pada penelitian Kusumanigtyas (2011) dalam skala laboratorium (1 liter) rendemen tertinggi dihasilkan dengan menggunakan rasio metanol/bahan 6:1 mencapai 98%. Rendemen tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan rendemen yang dihasilkan pada penelitian ini. Disisi lain penelitian yang dilakukan kusumanigtyas (2011) masih dalam skala laboratorium sehingga pengontrolan operasi selama proses produksi dapat dikendalikan sepenuhnya sehingga losses dapat ditekan. Selain itu kadar lemak SBE Kusumanigtyas (2011) tergolong cukup tinggi sebesar 29.85%. Peran heksan menurut Shuit *et al* (2010) penggunaan heksan dapat mempengaruhi rendemen minyak (biodiesel) yang dihasilkan karena heksan berfungsi membantu melarutkan mengekstraksi minyak dengan cara meningkatkan transfer massa minyak ke metanol. Namun pada penelitian ini, heksan tidak menunjukkan pengaruh yang baik pada rendemen yang dihasilkan. Pada Gambar 18 penambahan heksan pada produksi biodiesel akan menyebabkan penurunan rendemen yang dihasilkan. Heksan 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 heksan selain itu perpaduan antara variasi rasio pelarut metanol dengan heksan menyebabkan kondisi yang kurang mendukung dalam melakukan konversi karena selama proses berlangsung metanol akan lebih mudah menguap dibandingkan heksan yang memiliki titik didih lebih tinggi (69°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 heksan belum sempat terkonversi menjadi metil ester sehingga pada saat pencucian akan mengakibatkan losses. Semakin banyak jumlah heksan 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 impeler model *five-blade* turbin (A1) dengan metanol/heksan/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 impeler model *five-blade* turbin (A1) menghasilkan losses antara 40-75 ml sedangkan pada impeler 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 impeler dan variasi rasio metanol/heksan/bahan terhadap densitas biodiesel pada berbagai kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 9.

Tinggi rendahnya 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. 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 (SNI) batas minimum-maksimum 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 (Kalam dan Masjuki, 2002). Densitas metil ester dipengaruhi oleh berat molekul, kadar air dan asam lemak bebas dalam 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 impeler dan variasi rasio metanol/heksan/bahan terhadap viskositas biodiesel pada berbagai kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 7.

Pada penelitian yang dilakukan, ternyata selain mempengaruhi rendemen dan densitas, pelarut non-polar (heksan) juga mempengaruhi viskositas biodiesel yang dihasilkan dimana semakin tinggi rasio heksan 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 heksan 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 heksan (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 impeler *pitched-blade* yang lebih sesuai dan mendukung pada proses pengadukan, diduga pada proses produksi biodiesel SBE ini pelarut metanol tanpa campuran heksan lebih cocok digunakan dalam melakukan ekstraksi pada residu minyak dalam SBE. Dapat dilihat pada Gambar grafik dibawah penambahan heksan sangat mempengaruhi viskositas biodiesel yang dihasilkan. Heksan 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) juga menambahkan 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 heksan akan melarutkan senyawa-senyawa yang lebih bersifat non-polar, diduga ketidakefektifan heksan berinteraksi dengan metanol menjadi penyebab viskositas yang tinggi. Hal ini diduga karena heksan memiliki titik didih yang lebih tinggi yaitu 69°C sementara suhu selama proses produksi digunakan sebesar 65°C sehingga sulit untuk heksan 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 (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/heksan mengekstraksi minyak dan zat-zat lain yang mungkin tidak dapat terpisahkan dari senyawa biodiesel yang diperoleh.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Spent bleaching earth (SBE) adalah limbah industri yang dihasilkan dari proses *bleaching* dan berpotensi sebagai pencemar lingkungan. Tingginya kandungan minyak nabati pada SBE berpotensi dimanfaatkan menjadi biodiesel. Metode ekstraksi yang dikembangkan dalam proses pembuatan biodiesel pada penelitian ini adalah proses esterifikasi *in situ* 3 jam dan transesterifikasi *in situ* 1 jam. Proses reaksi esterifikasi dan transesterifikasi *in situ* dipengaruhi faktor bahan baku, jenis pelarut, rasio pelarut, jenis dan konsentrasi katalis, waktu reaksi, suhu reaksi, kecepatan pengadukan dan model/desain impeler. Model impeler yang digunakan mempunyai peranan penting selama proses ekstraksi berlangsung. Jenis impeler harus disesuaikan dengan sifat dan karakteristik bahan yang akan diaduk. Perhitungan dalam perancangan model impeler yang tepat dapat menghasilkan pengadukan yang efektif terhadap pelarut dan bahan (SBE) sehingga konversi yang terjadi maksimal. Model impeler yang digunakan adalah model *pitched-blade* turbin (A2) dan *five-blade* turbin (A1). Konsentrasi katalis yang digunakan yaitu 1,5% (v/b) terhadap bahan baku yang digunakan. Reaksi esterifikasi transesterifikasi *in situ* berlangsung pada suhu 65°C .

Kondisi proses produksi biodiesel dengan metode esterifikasi-transesterifikasi *in situ* terbaik adalah dengan menggunakan model impeler *pitched-blade* turbin (A2) dan rasio metanol/heksan/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 glicerol total 0,021 %, kadar ester alkil 99,76 % dan kadar air dan sedimen (negatif).

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

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 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* (sekat) dengan ukuran yang disesuaikan pada tangki karena dapat menghasilkan pencampuran (tumbukan) yang lebih baik. Untuk perlakuan menggunakan tambahan pelarut heksan sebaiknya dilakukan pada suhu yang lebih rendah.

PUSTAKA

- L.Nuraida, Y.Sukmawati. editor. *Kajian Kebijakan Dan Kumpulan Artikel Penelitian Biodiesel*. Kementrian Ristek dan Teknologi RI – MAKSI IPB Bogor.
- Kusumaningtyas N.W. 2011. *Proses Esterifikasi Transesterifikasi In Situ Minyak Sawit Dalam Tanah Pemucat Bekas Untuk Proses Produksi Biodiesel*.Bogor [Skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Yulianingtyas P. 2011. *Kajian Proses Produksi Biodiesel Melalui Transesterifikasi In Situ Biji Jarak Pagar (Jatropha Curcas L.) Pada Skala Pilot*.Bogor [Skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Sudrajat R, Pari Gustan. 2011. *Arang Aktif: Teknologi Pengolahan dan Masa Depan*. Bogor: Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- Deli, Nur Asma. 2011. *Disain Proses Produksi Biodiesel Dari Residu Minyak Sawit dalam Tanah Pemucat Bekas*. Tesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Jain S, Sharma MP. 2010. *Kinetics Of Acid Base Catalized Transesterification Of Jatropha Curcas Oil*. Bioresource Technology, 101: 7701-7706.
- Knothe G. 2010. *Biodiesel: Current trends and properties*. *Top Catal*. 53:714-720.
- Utami SW. 2010. *Kajian Proses Produksi Biodiesel Melalui Transesterifikasi In Situ Biji Jarak Pagar (Jatropha Curcas L.) Pada Berbagai Kondisi Operasi* [Skripsi]. Bogor: Teknologi Industri Pertanian, FATETA-IPB.

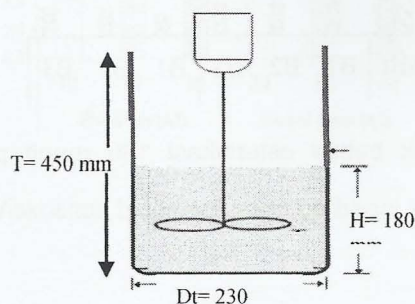
- Shiu PJ, Gunawan S, Hsieh WH, Kasim NS, Ju YH. 2010. *Biodiesel Production From Rice Bran By A Two-Step In Situ Process*. *Bioresour Technol*. 101:984-989.
- [BSN Attika. 2010. *Pengaruh Suhu Dan Waktu Terhadap Kualitas Biodiesel*. Bogor [Skripsi]. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Sahirman. 2009. *Perancangan Proses Produksi Biodiesel Dari Minyak Biji Nyamplung (Calopyllum Inophyllum)*. Disertasi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Canakci M, Sanli H. 2008. *Biodiesel Production From Various Feedstocks And Their Effects On The Fuel Properties*. *J Ind Microbiol Biotechnol*. 35:431-441.
- Georgogianni, K.G., M.G. Kontaminas, P.J. Pomonis, D. Avlonitis dan V, Gergis. 2008. *Conventional And In Situ Transesterification Of Sunflower Seed Oil For The Production Of Biodiesel*. *Fuel Processing Technology*, 89:503-509.
- Ketaren S. 2008. *Pengantar Teknologi Minyak Dan Lemak Pangan*. Jakarta: UI Press.
- Nurinawati. 2007
- Qian J, Wang F, Liu S, Yun Z. 2008. *In Situ Alkaline Transesterification Of Cottonseed Oil For Production Of Biodiesel And Nontoxic Cottonseed Meal*. *Bioresour Technol*. 99:9009-9012.
- Sharma YC, Singh B, Upadhyay SN. 2008. *Advancements In Development And Characterization Of Biodiesel: A review*. *Fuel*. 87(12):2355-2373.
- Wang Y, Ou S, Liu P, Zhang Z. 2007. *Preparation Of Biodiesel From Waste Cooking Oil Via Two-Step Catalyzed Process*. *Energy Convers Manage*. 48:184-188.
- Supeno, Minto. 2007. *Bentonit Alam Terpilir Sebagai Material Katalis/ Co-Katalis Pembuatan Gas Hidrogen dan Oksigen Dari Air*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Haas MJ, Scott KM. 2007. *Moisture Removal Substantially Improves The Efficiency Of In Situ Biodiesel Production From Soybeans*. *J Am Oil Chem Soc*. 84:197-204.
- Haryanto B. 2007. *Bahan Bakar Alternatif Biodiesel (Pengenalan I)*. Sumatera: USU Digital Library, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara. CRES-ITB, 2001.
- Syah, A. N. A. 2006. *Biodiesel Jarak Pagar: Bahan Bakar Alternatif Yang Ramah Lingkungan*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Zhansheng W, Chun L, Xifang S, Xiaolin X, Bin D, Jin'e L, Hongsheng Z. 2008. *Characterization Acid Activation And Bleaching Performance Of Bentonite From Xinjiang*. *Chinese J Chem Eng* 14 (2):253-258.
- Soerawidjaja, dan Tatang H. 2006. *Fondasi-Fondasi Ilmiah Dan Keteknikan Dari Teknologi Pembuatan Biodiesel*. Handout Seminar Nasional "Biodiesel Sebagai Energi Alternatif Masa Depan". UGM, Yogyakarta. Nouredini dan Zhu. (1997)
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 04-7182-2006. 2006. *Biodiesel*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional (BSN).

- Wang LS, Cheng SF, Choo YM, Ma AN. 2006 a. *A Study Of Residual Oils Recovery From Spent Bleaching Earth: Their Characteristics And Applications*. Am J App Sci. 3(10): 2063-2067.
- BSN] Badan Standarisasi Nasional, 2006. *Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 04-7182: 2006 tentang Biodiesel*. Jakarta: BSN.
- Withe G, Steidley KR. 2005. *Kinematic Viscosity Of Biodiesel Fuel Components And Related Compounds*. Fuel 84: 1059-1065.
- Choo YM. 2004. *Transesterification of Palm Oil: Effect of reaction parameters*. J Oil Palm Res. 16(2): 1-11.
- Omytryshyn SL, Dalai AK, Chaudari ST, Mishra HK, Reaney MJ. 2004. *Synthesis And Characterization Of Vegetable Oil Derived Esters: Evaluation of their diesel additive properties*. Bioresource Technology. 9: 55-64.
- 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.
- McCabe, W.L. 2004. *Unit Operation Of Chemical Engineering*, 3rd Edition, McGraw-Hill Young.
- Wittelbach, M dan Remschmidt, C. 2004. *Biodiesel*. Boersdruck Ges.m.d.H., Viena Austria.
- Soerawidjaja, T.H., T. Adrisman, U.W. Siagian, T. Prakoso, I.K.Reksowardojo, K.S. Permana. 2005. *Studi Kebijakan Penggunaan Biodiesel di Indonesia*. Di dalam P Hariyadi, N. Andarwulan, L.Nuraida,
- Tyson KS. 2004. *Energy Efficiency And Renewable Energy*. U.S. Department of Energy. <http://www.osti.gov/bridge>.
- Purwono,S.,Yulianto, N. dan Pasaribu, R., 2003. *Biodiesel dari Minyak Kelapa*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia, Yogyakarta.
- Kinast, J.A., Tyson K.S. 2003. *Production Of Biodiesel From Multiple Feedstocks And Properties Of Biodiesel And Biodiesel/Diesel Blends*. NREL US Departement of Energy Laboratory.
- Ozgul-Yücel S, Turkey S. 2003. *FA Monoalkylester From Rice Bran Oil By In Situ Transesterification*. J Am Oil Chem Soc 81: 81-84.
- Ozgul-Yucel S, Turkey S. 2003. *FA Monoalkylester From Rice Bran Oil By In Situ Transesterification*. J Am Oil Chem Soc 81: 81-84.
- Ozgul-Yucel S, Turkey S. 2002. *Variables Affecting The Yields Of Methyl Esters Derived From In Situ Esterification Of Rice Bran Oil*. J Am Oil Chem Soc. 79(6):611-614.
- Legowo, E. 2001. *Experience In Palm Biodiesel Application For Transportation*. Dalam *Proceedings Of The International Biodiesel Workshop*. Medan, 2-4 Oktober 2001.
- Canakci M, Van Gerpen J. 2001. *Biodiesel Production From Oils And Fats With High Free Fatty Acids*. Trans ASAE. 44(6):1429-1436.

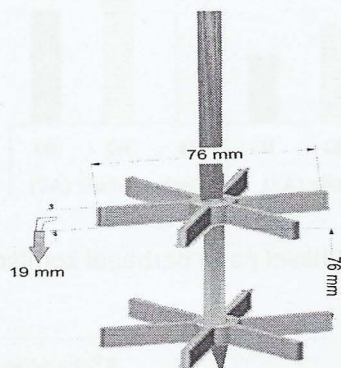
- Ma, F. dan M. A Hanna.1999. *Biodiesel Production.: A Review*. Bioresource Technology 70:77-82.
- Marinkovic SS, Tomasevic A. 1998. *Transesterification Of Sunflower Oil In Situ*. Food 77(12):1389-1391.
- Geankoplis C. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations*, University of Minnesota, United States.
- Tan, K. H. 1993. *Principles Soil Chemistry, 2nd Edition*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Kurashige J, Matsuzaki N, Takashi H. 1993. *Enzymatic Modification Of Canola/Palm Oil Mixture Effects On The Fluidity Of The Mixture*. J Am Oil Chem Soc 70(9): 845-852.
- Keim GI. 1945. Process for treatment of fatty glycerides. US Patent 2, 383, 601.
- Satterfield, Charles N. (1991). *Heterogenous Catalyst In Industrial Practice*, Second Edition. Malabar Florida: Krieger Publishing Company Goffman, F.D., Pinson S., and Bergman C. *Genetic Diversity For Lipid Content And Fatty Acid Profile In Rice Bran*. J. Am. Oil Chem. Soc., 2003; 80: 485-90.
- Richardson, J.T. 1989. *Principles of catalyst Development*. New York: Plenum Press
- Young, F. V. K. 1987. Refining and Fractination of Palm Oil. Pages 39-69 in F.D. Guston, ed. *Palm Oil: Critical Reports on Applied Chemistry*, Vol. 15. New York: John Wiley and Sons.
- Freedman B, Pryde EH, Mounts TL. 1984. *Variables Affecting The Yields Of Fatty Esters From Transesterified Vegetable Oils*. J Am Oil Chem Soc. 61:1638-1643.
- S. Nagata. 1975. *Mixing Principles and Applications*, Wiley, New York.
- Grim, R.E. 1968. *Clay Mineralogy*. Mc Graw-Hill Book &Co.
- Shreve RN. 1967. *Chemical Process Industries*, Third Edition, McGraw-Hill, New York
- Devine, T dan D.N. Williams. 1961. *The Chemistry And Technology Of Edible Oil And Fats*. New York: Pergamon Press.

Tabel 1 Karakteristik SBE

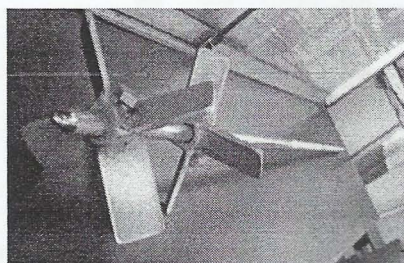
Karakteristik	Nilai (%)
Kadar air	1,53
Kadar asam lemak bebas	2,2
Kadar lemak	17,86



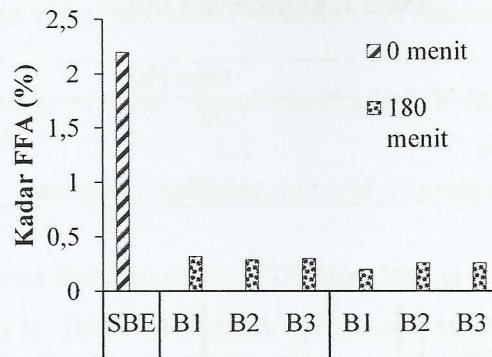
Gambar 1 Dimensi reaktor yang digunakan selama proses produksi biodiesel



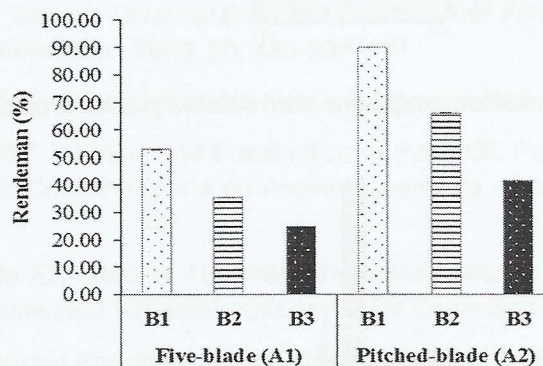
Gambar 2 Dimensi impeler *five-blade* turbin



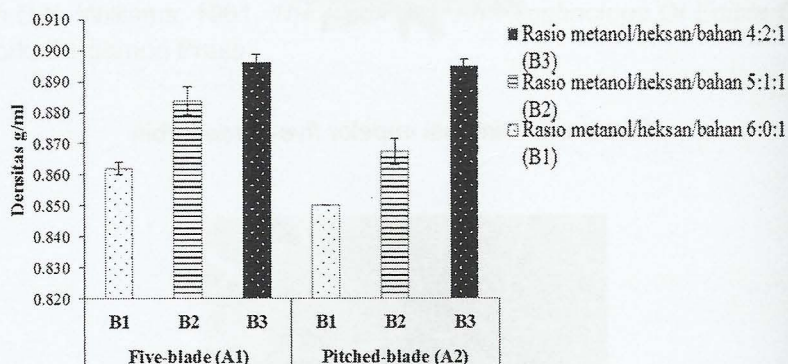
Gambar 3 Dimensi impeler *pitched-blade* turbin



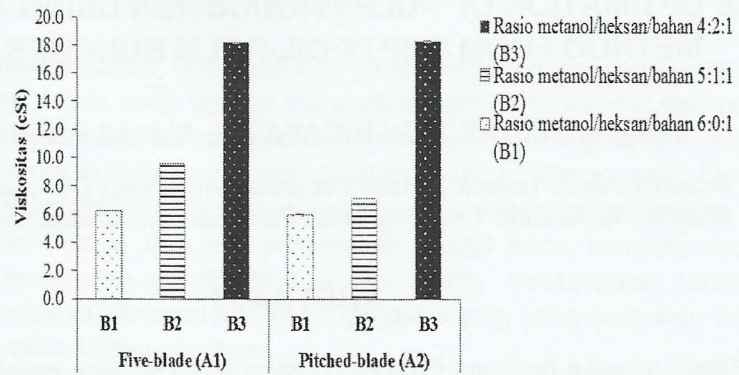
Gambar 4 Kadar asam lemak bebas esterifikasi 180 menit pada berbagai kombinasi perlakuan



Gambar 5 Rendemen biodiesel pada berbagai kombinasi perlakuan



Gambar 6 Densitas biodiesel pada berbagai kombinasi perlakuan



Gambar 7 Viskositas biodiesel pada berbagai kombinasi perlakuan