

**PENGARUH WAKTU REAKSI DAN PENAMBAHAN HEKSAN DALAM  
PROSES TRANSESTERIFIKASI *IN SITU* TERHADAP PRODUKSI  
BIOSOLAR DARI *SPENT BLEACHING EARTH* (SBE)**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**RIANANDA ADELINA**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

**THE EFFECT OF REACTION TIME AND HEXANE ADDITION TO  
TRANSESTERIFICATION IN SITU OF BIODIESEL PRODUCTION  
FROM SPENT BLEACHING EARTH (SBE)**

**ABSTRACT**

**By**

**RIANANDA ADELINA**

The current biodiesel manufacturing process is carried out through the stages of oil extraction, oil purification, and followed by oil transesterification into biodiesel. The long stages of the process lead to low efficiency and high energy consumption, resulting in high cost of biodiesel production. Therefore, it is necessary to develop the process of biodiesel production that is more energy efficient and can produce high quality biodiesel through in situ esterification-transesterification. The in situ transesterification-esterification process is a simpler step in producing biodiesel by eliminating the extraction and purification process. Some factors which influence the biodiesel production process through in situ transesterification are reaction time and the addition of hexane which can affect biodiesel yield and characteristics. This study aimed to determine the optimal reaction time and hexane addition, as well as the interaction between the two treatments on the biodiesel yield and acid number, saponification number, iodine number, and cetane number, and compare it with SNI-04-7182-2006. The research method used was Factorial Randomized Block Design in three replications. The treatment consisted of two factors. The first factor was the reaction time (esterification:transesterification) 3:2, 2:3, 1:4 and the second factor

was the addition of hexane (0, 50 ml, and 100 ml). Data were tested by Bartlett test to see its homogeneity and tested by Tuckey test to determine its additivity . The data were then analyzed by Analysis of Variance to find the error estimator and to know the effect of the treatment. The data were further tested using Orthogonal Polynomial and Orthogonal Contrast. The result of the research showed that the best treatment was P2W1 which was 50 ml hexane addition treatment with 3: 2 reaction time treatment, which resulted in the amount of biodiesel yield of 18, 96%, which had acid number of 1.12 mg KOH / gram, saponification number 87,89 mg KOH / gram, iodine number of 74,10 gI<sub>2</sub> / 100g, and cetane index 104,43.

**Keywords :** biodiesel, *spent bleaching earth* , transesterification *in situ*

**EFEK WAKTU REAKSI DAN PENAMBAHAN HEKSAN DALAM  
PROSES TRANSESTERIFIKASI *IN SITU* TERHADAP PRODUKSI  
BIOSOLAR DARI *SPENT BLEACHING EARTH* (SBE)**

**Oleh**

**RIANANDA ADELINA**

Proses pembuatan biosolar saat ini dilakukan melalui tahapan ekstraksi minyak, pemurnian minyak dan dilanjutkan dengan esterifikasi-transesterifikasi minyak menjadi biosolar. Tahapan-tahapan panjang yang harus dilalui menyebabkan rendahnya efisiensi dan tingginya konsumsi energi, yang mengakibatkan tingginya biaya produksi biosolar, sehingga perlu dikembangkan proses pembuatan biosolar yang lebih efektif, efisien dan hemat energi serta dapat menghasilkan biosolar berkualitas tinggi melalui proses esterifikasi-transesterifikasi *in situ*. Proses esterifikasi transesterifikasi *in situ* merupakan langkah yang lebih sederhana dalam memproduksi biosolar dengan mengeliminasi proses ekstraksi dan pemurnian sehingga dapat menurunkan biaya produksi. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam proses pembuatan biosolar secara transesterifikasi *in situ* adalah waktu reaksi dan penambahan heksan yang dapat mempengaruhi jumlah rendemen biosolar dan karakteristik biosolar yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui waktu reaksi dan penambahan heksan optimal, serta interaksi antara kedua perlakuan tersebut terhadap rendemen biosolar serta bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan iod, dan bilangan setana, dan membandingkannya dengan SNI-04-7182-2006.

Metode penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok Lengkap secara faktorial dengan tiga ulangan. Perlakuan terdiri dari dua faktor. Faktor pertama adalah waktu reaksi (esterifikasi: transesterifikasi *in situ*) 3:2, 2:3, 1:4 dan faktor kedua adalah penambahan heksan (0, 50 ml, dan 100 ml). Data diuji dengan uji Barlett untuk melihat keragamannya dan diuji dengan uji Tuckey untuk mengetahui kemenambahannya. Data selanjutnya dianalisis dengan uji sidik ragam untuk mendapatkan penduga ragam galat dan uji signifikansi untuk mengetahui pengaruh antar perlakuan. Selanjutnya data diuji lanjut menggunakan Polinomial Ortogonal dan Ortogonal kontras. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan terbaik adalah P2W1 yaitu perlakuan penambahan heksan 50 ml dengan perlakuan waktu reaksi 3:2, yang menghasilkan jumlah rendemen biosolar dari *spent bleaching earth* (SBE) sebesar 18,96% dengan karakteristik biosolar meliputi bilangan asam 1,12 mg KOH/gram, bilangan penyabunan 87,89 mg KOH/gram, bilangan iod 74,10 gI<sub>2</sub>/100g, dan indeks setana 104,43.

**Kata kunci :** biosolar, *spent bleaching earth*, transesterifikasi *in situ*

**PENGARUH WAKTU REAKSI DAN PENAMBAHAN HEKSAN DALAM  
PROSES TRANSESTERIFIKASI *IN SITU* TERHADAP PRODUKSI  
BIOSOLAR DARI *SPENT BLEACHING EARTH* (SBE)**

**Oleh**

**RIANANDA ADELINA**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

**Pada**

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

Judul Skripsi : PENGARUH WAKTU REAKSI DAN  
PENAMBAHAN HEKSAN DALAM PROSES  
TRANSESTERIFIKASI *IN SITU* TERHADAP  
PRODUKSI BIODIESEL DARI *SPENT*  
*BLEACHING EARTH* (SBE)

Nama Mahasiswa : Riananda Adelina

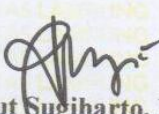
Nomor Pokok Mahasiswa : 1214051061

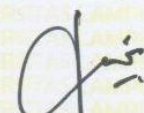
Program Studi : Teknologi Hasil Pertanian

Fakultas : Pertanian

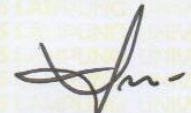


1. Komisi Pembimbing

  
Ir. Ribut Sugiharto, M. Sc  
NIP. 19660314 1999003 1 009

  
Dyah Koesoemawardani, S.Pi., M.P.  
NIP. 19701027 199512 2 001

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

  
Ir. Susilawati, M.Si  
NIP. 19610806 198702 2 001



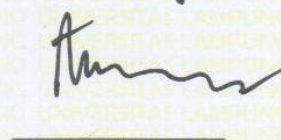
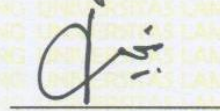
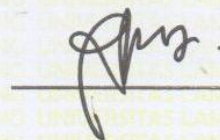
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc

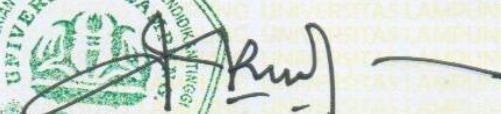
Sekretaris : Dyah Koesoemawardani, S.Pi., M.P.

Penguji  
Bukan Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Tirza Hanum, M.S



2. Dekan Fakultas Pertanian



  
Prof. Dr. Ir. Arwan Sukri Banuwa, M.Si  
NIP. 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 13 April 2018



## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Nama Riananda Adelina NPM 1214051061

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan.

Karya ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, April 2018  
Yang membuat pernyataan



Riananda Adelina  
NPM. 1214051061

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Baturaja, Sumatra Selatan pada tanggal 03 Agustus 1994, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari Bapak Saiful Adli dan Ibu Surya Erniyati.

Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-kanak Aisyiah Bustanul Athfal di Kotabumi pada tahun 2000, Sekolah Dasar di SDN 04 Tanjung Aman, Kotabumi pada tahun 2006, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 03 Kotabumi pada tahun 2009, dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 03 Kotabumi pada tahun 2012.

Tahun 2012, penulis diterima di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN tertulis. Penulis melaksanakan Praktik Umum pada bulan Juli sampai Agustus 2015 di PT. Indofood Fritolay Makmur dengan judul “Mempelajari Proses Ekstrusi dan Pengawasan Mutu pada Produk Chiki Balls di PT Indofood Fritolay Makmur, Cikokol, Tangerang” dan Kuliah Kerja Nyata di Desa Sidomekar, Kecamatan Gedung Aji Baru, Kabupaten Tulang Bawang pada bulan Januari 2015.

Penulis juga aktif dalam kegiatan kemahasiswaan diantaranya menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian kepengurusan sebagai

Anggota Bidang Seminar dan Dikusi pada periode 2013/2014, Sekretaris Dinas Dana dan Usaha BEM Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada periode 2014/2015. Ketua Bidang Dana dan Usaha periode 2015/2016 di Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Lampung.

## SANWACANA

Bismillahirrahmanirrahim.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah S.W.T. atas nikmat, petunjuk, serta ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Pengaruh Waktu Reaksi dan Penambahan Heksan dalam Proses Transesterifikasi *in Situ* Terhadap Produksi Biosolar dari *Spent Bleaching Earth* (SBE)”. Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.S., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Susilawati, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian atas izin penelitian yang diberikan.
3. Bapak Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc., selaku pembimbing akademik dan sekaligus pembimbing satu, atas bantuan serta pengarahan, saran, dan masukan dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi penulis.
4. Ibu Dyah Koesoemawardani, S.Pi., M.P., selaku pembimbing dua atas bantuan serta pengarahan, saran, dan masukan dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi penulis.

5. Ibu Prof. Dr. Ir. Tirza Hanum, M.S., selaku pembahas atas saran, bimbingan dan evaluasinya terhadap karya skripsi penulis.
6. Bapak dan Ibu dosen pengajar, staff administrasi di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
7. Ayah dan Mama serta adik-adik, yang selalu menyemangati dan berdoa untuk keberhasilan penulis.
8. Teman-teman THP 2012 khususnya Desti, Gita, Nisa, Ulfa dan SOP terima kasih untuk semua dukungannya serta motivasi, dan perhatian teman-teman dalam bantuannya selama perkuliahan dan penelitian.
9. Teman-teman dari oxyde dan ekhy, terima kasih untuk semua dukungannya serta motivasi, dan perhatian teman-teman selama ini.
10. Keluarga besar HMJ THP, adik-adik angkatan 2015/2013 dan kakak-kakak angkatan 2011/2004 terima kasih untuk semua dukungan serta motivasinya.
11. Terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungannya hingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis berharap semoga Allah SWT membalas segala amal dan kebaikan semua pihak di atas dan skripsi ini dapat bermanfaat. Amin.

Bandar Lampung, April 2018

Penulis,

RIANANDA ADELINA



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>SANWACANA</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	4
1.3. Kerangka Pemikiran .....	5
1.4. Hipotesis .....	7
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Biosolar .....	8
2.2. Minyak Sawit .....	11
2.3. Pengolahan Minyak Sawit .....	14
2.4. Spent Bleaching Earth (SBE) .....	16

2.5. Esterifikasi .....	17
2.6. Transesterifikasi.....	19
2. 7Esterifikasi-Transesterifikasi In Situ .....	22

### **III. BAHAN DAN METODE**

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
3.2. Bahan dan Alat.....	24
3.3 Metode Penelitian .....	24
3.4. Prosedur Percobaan.....	25
3.4.1. Karakterisasi Spent Bleaching Earth (SBE).....	25
3.4.2. Proses Esterifikasi In Situ.....	28
3.4.3. Proses Transesterifikasi In Situ .....	28
3.5. Prosedur Pengamatan.....	31
3.5.1. Penentuan Rendemen Biosolar .....	31
3.5.2. Penentuan Bilangan Asam .....	31
3.5.3. Penentuan Bilangan Penyabunan.....	32
3.5.4. Penentuan Bilangan Iod .....	33
3.5.5 Penentuan Indeks Setana .....	34

### **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Penelitian Pendahuluan.....	35
4.2. Rendemen Biosolar.....	36
4.3. Bilangan Asam Biosolar .....	40
4.4. Bilangan Penyabunan Biosolar .....	43
4.5. Bilangan Iod Biosolar .....	45
4.6. Indeks Setana Biosolar.....	49
4.7. Penentuan Perlakuan Terbaik .....	52

### **V. KESIMPULAN**

5.1. Kesimpulan .....	54
-----------------------	----

5.2. Saran .....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>60</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persyaratan Kualitas Biosolar Menurut SNI-04-7182-2006.....	11
2. Komposisi asam lemak dari minyak kelapa sawit .....	14
3. Kombinasi Perlakuan .....	25
4. Karakteristik SBE .....	26
5. Data Rendemen Biosolar dari SBE.....	61
6. Uji Barlett Rendemen Biosolar dari SBE .....	61
7. Analisis Ragam Rendemen Biosolar dari SBE .....	62
8. Uji OP dan OC Rendemen Biosolar dari SBE.....	63
9. Data Bilangan Asam Biosolar dari SBE .....	64
10. Uji Barlett Bilangan Asam Biosolar dari SBE.....	64
11. Analisis Ragam Bilangan Asam Biosolar dari SBE .....	65
12. Uji OP dan OC Bilangan Asam Biosolar dari SBE .....	66
13. Data Bilangan Penyabunan Biosolar dari SBE .....	67
14. Uji Barlett Bilangan Penyabunan Biosolar dari SBE .....	67
15. Analisis Ragam Bilangan Penyabunan Biosolar dari SBE.....	68
16. Uji OP dan OC Bilangan Penyabunan Biosolar dari SBE.....	69
17. Data Bilangan Iod Biosolar dari SBE.....	70
18. Uji Barlett Bilangan Iod Biosolar dari SBE.....	70

19. Analisis Ragam Bilangan Iod Biosolar dari SBE.....	71
20. Uji OP dan OC Bilangan Iod Biosolar dari SBE.....	72
21. Data Indeks Setana Biosolar dari SBE.....	73
22. Uji Barlett Indeks Setana Biosolar dari SBE.....	73
23. Analisis Ragam Indeks Setana Biosolar dari SBE.....	74
24. Uji OP dan OC Indeks Setana Biosolar dari SBE.....	75
25. Pemilihan Perlakuan Terbaik Biosolar dari SBE.....	52



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Proses Hidrolisis dari trigliserida.....	12
2. Reaksi Esterifikasi dengan Katalis Asam.....	18
3. Proses Pembuatan Biosolar Esterifikasi dan Transesterifikasi In Situ.....	30

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang dan Masalah

Peningkatan konsumsi bahan bakar minyak khususnya solar merupakan salah satu masalah utama ketersediaan energi di Indonesia. Di samping itu, efek yang ditimbulkan dari pembakaran bahan bakar fosil dapat membahayakan lingkungan dan kelangsungan hidup manusia. Kenyataan tersebut menuntut dikembangkannya bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan (renewable) dan ramah lingkungan (Pasang, 2007). Bahan bakar alternatif yang paling banyak menjadi perhatian akhir-akhir ini adalah biosolar (metil ester). Biosolar dihasilkan dari reaksi transesterifikasi minyak nabati atau hewani dengan alkohol menggunakan katalis basa (umumnya KOH atau NaOH).

Biosolar merupakan bahan bakar mesin diesel yang terdiri atas ester alkil dari asam-asam lemak. Bahan baku biosolar yang berpotensi besar di Indonesia untuk saat ini adalah CPO. Indonesia sebagai produsen CPO terbesar di dunia, sangat potensial sebagai produsen biosolar dengan memanfaatkan minyak yang berbasis sawit, baik CPO itu sendiri maupun turunannya. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan (2016), pada tahun 2014 lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia tercatat seluas 10,75 juta hektar, meningkat menjadi 11,3 juta hektar pada tahun 2015.

Pada tahun 2016 areal perkebunan kelapa sawit meningkat menjadi 11,67 juta hektar dengan jumlah produksi kelapa sawit sebanyak 33.500.691 ton (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2016). Sebanyak 31,20% digunakan untuk produksi minyak goreng dan turunannya, serta 10,4% sisa memanfaatkan pada industri oleokimia dan sabun (Kusumaningtyas, 2011). Komoditas kelapa sawit di Provinsi Lampung memiliki areal perkebunan terluas kedua setelah kopi robusta dan menjadi primadona sektor perkebunan di Provinsi Lampung. Di Provinsi Lampung, produksi CPO terlebih dahulu digunakan untuk pemenuhan kebutuhan dalam negeri (30-40%) yang kemudian sisanya (60-65%) untuk diekspor ke luar negeri. Provinsi Lampung menghasilkan kelapa sawit sebanyak 202.774 ton pada tahun 2016 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2016). Namun, jika dilihat dari pertimbangan lain penggunaan minyak nabati kelapa sawit sebagai bahan bakar tidak dapat diterima. Hal ini dikarenakan manfaat yang lebih besar sebagai produk lain dan tanggapan yang kurang baik terhadap konsep “*food for fuel*” yaitu membuat bahan bakar dari makanan. Oleh karena itu, penggunaan minyak nabati dari limbah industri minyak nabati menjadi alternatifnya (Zahrani, 2000).

Salah satu proses yang paling banyak menghasilkan limbah pada pengolahan minyak kelapa sawit adalah proses *bleaching*. Bahan yang digunakan pada proses *bleaching* atau pemucatan adalah *bleaching earth* dan menghasilkan limbah yang disebut *spent bleaching earth* (SBE). Seiring berkembangnya industri minyak nabati, kebutuhan akan *bleaching earth* terus meningkat dan *spent bleaching earth* (SBE) yang dihasilkan juga meningkat. Namun disisi lain *spent bleaching earth* merupakan

limbah yang berpotensi sebagai bahan pencemar lingkungan. Pada industri *refinery* minyak nabati, penanganan SBE digunakan sebagai *landfill*, yaitu SBE ditumpuk pada suatu lahan khusus yang tidak dimanfaatkan lagi atau mendapat penanganan lebih lanjut. Diketahui bahwa, SBE masih mengandung 20-30% minyak nabati atau lemak, tetapi minyak tersebut tidak layak untuk pangan (*non edible oil/fat*) (Young, 1987). Tingginya kandungan minyak nabati dalam SBE tersebut sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku biosolar.

Proses pembuatan biosolar saat ini dilakukan melalui tahapan ekstraksi minyak, pemurnian minyak dan dilanjutkan dengan esterifikasi-transesterifikasi minyak menjadi biosolar. Tahapan-tahapan panjang yang harus dilalui menyebabkan rendahnya efisiensi dan tingginya konsumsi energi, yang mengakibatkan tingginya biaya produksi biosolar, sehingga perlu dikembangkan proses pembuatan biosolar yang lebih efektif, efisien dan hemat energi serta dapat menghasilkan biosolar berkualitas tinggi melalui proses esterifikasi-transesterifikasi *in situ*. Proses esterifikasi transesterifikasi *in situ* merupakan langkah yang lebih sederhana dalam memproduksi biosolar dengan mengeliminasi proses ekstraksi dan pemurnian sehingga dapat menurunkan biaya produksi (Haas *et al.*, 2004). 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 biosolar 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, namun hingga saat ini belum diketahui lamanya waktu reaksi dan penambahan pelarut heksan yang optimal yang menghasilkan rendemen biosolar tertinggi. Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan hasil waktu reaksi dan perbandingan pelarut yang optimal untuk memperoleh rendemen dan bilangan asam terbaik dari Biosolar berbahan baku *Spent Bleaching Earth* (SBE).

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui waktu optimum pada proses produksi biosolar secara transesterifikasi *in situ* untuk menghasilkan rendemen optimum, bilangan asam, bilangan setana yang sesuai SNI-04-7182-2006.
2. Mengetahui pengaruh penambahan heksan untuk proses produksi biosolar untuk menghasilkan rendemen optimum, bilangan asam, bilangan setana yang sesuai SNI-04-7182-2006.
3. Mengetahui interaksi antara waktu reaksi dan penambahan heksan pada proses transesterifikasi *in situ* dalam pembuatan biosolar.



### 1.3. Kerangka Pemikiran

SBE merupakan salah satu limbah yang dihasilkan pada proses pengolahan minyak sawit. SBE digunakan pada proses pemucatan atau *bleaching* dan tidak digunakan kembali sehingga hanya ditumpuk pada suatu lahan khusus. SBE masih mengandung 20-30% minyak nabati atau lemak, tetapi minyak tersebut tidak layak untuk pangan (*non edible fat*) (Young, 1987). Tingginya kandungan minyak nabati dalam SBE tersebut sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku biosolar.

Biosolar merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkil ester dari asam lemak rantai panjang, yang dipakai sebagai bahan bakar alternatif mesin diesel dan terbuat dari sumber terbarukan seperti minyak nabati atau lemak hewan. Proses transesterifikasi lipid digunakan untuk mengubah minyak menjadi ester yang diinginkan dan membuang asam lemak bebas (Sufriyani, 2006). Ramadhas *et al.*, (2004) menyatakan bahwa asam lemak bebas yang terkandung pada SBE tidak lebih dari 2%. Proses transesterifikasi hanya akan berjalan baik jika asam lemak bebas pada minyak kurang 2% maka pada pembuatan biosolar perlu dilakukan proses esterifikasi terlebih dahulu.

Suryani *et al.*, (2014) telah melakukan percobaan produksi biosolar dari residu minyak dalam tanah pemucat bekas (SBE) secara *in situ*, dimana diperoleh hasil terbaik rendemen 90,17% pada proses esterifikasi-transesterifikasi *in situ* dengan katalis  $H_2SO_4$  dan NaOH 1,5% (v/b), variasi rasio metanol/heksana/bahan 6:0:1 pada suhu  $65^{\circ}C$  dan kecepatan pengadukan 650 rpm. Lina (2013) juga melaporkan hasil

penelitian dengan kondisi operasi divariasikan pada waktu reaksi 4-10 jam, rasio heksan/total pelarut 0.01 - 0.416, konsentrasi KOH 0,075 mol/L metanol dan kecepatan pengadukan 400 rpm suhu 50 °C. Rendemen biodiesel maksimum sebesar 63.46% diperoleh dari kondisi operasi waktu reaksi 5 jam dan rasio heksan/total pelarut 0.35

Selain itu hasil penelitian Supardan *et al.*, (2014) menunjukkan bahwa penggunaan *co-solvent* menghasilkan rendemen biosolar yang lebih besar bila dibandingkan dengan tanpa *co-solvent* sehingga dapat disimpulkan penambahan *co-solvent* terbukti dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi dan meningkatkan laju reaksi transesterifikasi. Rendemen biosolar mencapai maksimum pada penambahan volume heksan sebanyak 95 mL (setara dengan perbandingan berat heksan terhadap minyak sebesar 6,2:1) yaitu sebesar 60%. Dibandingkan dengan hasil penelitian Suryani *et al.*, (2014) 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 biosolar 90,17%, densitas 0,85 mg/mL, viskositas 6 cSt, bilangan asam 0,77 KOH/g, bilangan penyabunan 287,59 mg KOH/g, gliserol total 0,21%, kadar ester alkil 99,76%.

Belum diketahui berapa waktu dan perbandingan pelarut yang digunakan untuk proses produksi biosolar *spent bleaching earth* (SBE) secara transesterifikasi *in situ* yang optimum. Namun hasil penelitian-penelitian yang telah dilaporkan dijadikan sebagai acuan dalam penelitian ini. Oleh karena, itu melalui penelitian ini diharapkan

diketahui waktu dan perbandingan pelarut untuk produksi biosolar yang dapat menghasilkan rendemen yang optimal serta nilai bilangan asam yang memenuhi SNI 04-7128-2006.

#### **1.4. Hipotesis**

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat waktu reaksi yang tepat untuk menghasilkan karakteristik biosolar dari *spent bleaching earth* yang terbaik.
2. Terdapat jumlah penambahan heksan yang tepat untuk menghasilkan karakteristik biosolar dari *spent bleaching earth* yang terbaik.
3. Terdapat interaksi antara waktu reaksi dan penambahan heksan yang tepat untuk menghasilkan karakteristik biosolar dari *spent bleaching earth* yang terbaik.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Biosolar

Biosolar secara umum adalah bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari bahan terbarukan atau secara khusus merupakan bahan bakar mesin diesel yang terdiri atas alkil ester dari asam-asam lemak. Biosolar dapat dibuat dari minyak nabati atau minyak hewani, baik dari minyak goreng baru atau minyak goreng bekas/daur ulang. Biosolar merupakan salah satu bahan bakar mesin diesel yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui (*renewable*) sehingga sangat prospektif untuk dikembangkan. Ada beberapa kelebihan biosolar dibandingkan dengan solar, yaitu :

1. Bahan bakar ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang jauh lebih baik (*free sulphur, smoke number* rendah).
2. *Cetane number* lebih tinggi (>57) sehingga efisiensi pembakaran lebih baik dibandingkan dengan minyak kasar.
3. Memiliki sifat pelumasan terhadap piston mesin dan dapat terurai (*biodegradable*).
4. Merupakan *renewable energy* karena terbuat dari bahan alam yang dapat diperbaharui.

5. Bahan bakar ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang jauh lebih baik (*free sulphur, smoke number* rendah).
6. Meningkatkan independensi suplai bahan bakar karena dapat diproduksi secara lokal (Hambali *et al.*, 2008).

Biosolar tersusun dari berbagai macam ester asam lemak yang dapat diproduksi dari minyak tumbuhan maupun lemak hewan. Minyak tumbuhan yang sering digunakan antara lain minyak sawit (*palm oil*), minyak kelapa, minyak jarak pagar, dan minyak biji kapok randu, sedangkan lemak hewani seperti lemak babi, lemak ayam, lemak sapi, dan juga lemak yang berasal dari ikan (Wibisono, 2007).

Biosolar disintesis dari ester asam lemak dengan rantai karbon antara C<sub>6</sub>-C<sub>22</sub> dengan reaksi transesterifikasi. Bahan bakar ini bisa digunakan dengan mudah karena dapat bercampur dengan segala komposisi dengan minyak solar, mempunyai sifat-sifat fisik yang mirip dengan solar biasa sehingga dapat diaplikasikan langsung untuk mesin-mesin diesel yang ada hampir tanpa modifikasi (Prakoso, 2003).

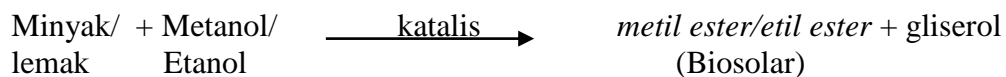
Bahan-bahan mentah pembuatan biosolar adalah:

1. Trigliserida-trigliserida, yaitu komponen utama aneka lemak dan minyak lemak.
2. Asam-asam lemak, yaitu produk samping industri pemulusan (*refining*) lemak dan minyak-lemak. (Mittelbach *et al.*, 2004)

Biosolar merupakan monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani untuk digunakan sebagai

alternatif yang paling tepat untuk menggantikan bahan bakar mesin diesel. Bahan bakar ini bersifat *biodegradable*, dan hampir tidak mengandung sulfur. Bahan bakar alternatif ini terdiri dari metil atau etil ester, hasil transesterifikasi baik dari triakilgliserida (TG) atau esterifikasi dari asam lemak bebas (FFA) (Ma dan Hanna, 1999). Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, bahan bakar biosolar mempunyai kelebihan diantaranya bersifat *biodegradable*, *non-toxic*, mempunyai angka emisi CO<sub>2</sub> dan gas sulfur yang rendah, dan sangat ramah terhadap lingkungan (Marchet, *et al.*, 2008).

Menurut Hambali *et al.* (2008), prinsip proses pembuatan biosolar sebenarnya sangat sederhana. Biosolar dihasilkan melalui proses *transesterifikasi* minyak atau lemak dengan alkohol. Alkohol akan menggantikan gugus alkohol pada struktur ester minyak dengan dibantu katalis. Katalis yang umumnya digunakan adalah NaOH dan KOH.



Persyaratan mutu biosolar Indonesia menurut SNI-04-7182-2006 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persyaratan kualitas biosolar menurut SNI-04-7182-2006

Parameter dan satuannya	Batas nilai	Metode uji	Metode setara
Massa jenis pada 40°C, kg/m <sup>3</sup>	850 - 890	ASTM D 1298	ISO 3675
Viskositas kinematik pd 40 °C, mm <sup>2</sup> /s (cSt)	2,3 – 6,0	ASTM D 445	ISO 3104
Angka setana	min. 48	ASTM D 613	ISO 5165
Titik kilat (mangkok tertutup), °C	min. 100	ASTM D 93	ISO 2710
Titik awan/mendung, °C	maks. 18	ASTM D 2500	-
Korosi strip tembaga (3 jam pada 50 °C)	maks. no 3	ASTM D 130	ISO 2160
Residu karbon (%-b)			
- dalam contoh asli	maks. 0,05	ASTM D 4530	ISO 10370
- dalam 10% ampas asli	(maks. 0,3)		
Air dan sedimen, %-vol	maks. 0,05	ASTM D2709	-
Temperatur distilasi 90%, °C	maks. 360	ASTM D1160	-
Abu tersulfatkan, %-b	maks. 0,02	ASTM D 974	ISO 3987
Belerang, ppm-b (mg/kg)	maks. 80	ASTM D 5453	PrEN ISO 20884
Fosfor, ppm-b (mg/kg)	maks. 10	FBI-A05-03	AOCS Ca 12-55
Angka asam, mg-KOH/g	maks. 0,8	FBI-A01-03	ASTM D 974
Gliserol bebas, %-b	maks. 0,02	FBI-A02-03	AOCS Ca 14-56
Gliserol total, %-b	maks. 0,24	FBI-A02-03	AOCS Ca 14-56
Kadar ester alkil, %-b	min. 96,5	FBI-A03-03	FBI-A03-03
Angka iodium, %-b (g-I <sub>2</sub> /100g)	maks. 115	FBI-A04-03	PrEN 14111
Uji Halphen	Negatif	FBI-A06-03	AOCS Cb 1-25

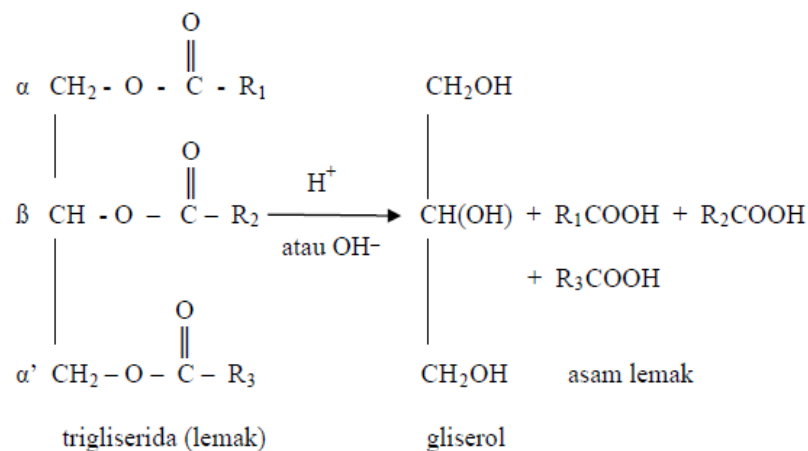
Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2006)

## 2.2. Minyak Sawit

Minyak sawit terutama dikenal sebagai bahan mentah minyak dan lemak pangan yang digunakan untuk menghasilkan minyak goreng, shortening, margarin, dan minyak makan lainnya. Minyak sawit mengandung asam lemak jenuh dan asam

lemak tidak jenuh yang ikatan molekulnya mudah dipisahkan dengan alkali (Amang, 1996).

Menurut perkiraan, kurang lebih 90% dari produksi minyak sawit dunia dipergunakan sebagai bahan pangan. Dibandingkan minyak nabati dan lemak hewan yang lain, minyak kelapa sawit ternyata mempunyai kandungan kolestrol yang rendah. Dengan melihat unsur-unsur yang terkandung dalam minyak sawit, tak dapat disangkal bahwa minyak sawit merupakan salah satu bahan makanan yang mengandung kalori cukup tinggi (Penebar Swadaya, 1997). Lemak tersebut jika dihidrolisis menghasilkan 3 molekul asam lemak rantai panjang dan 1 molekul gliserol. Adapun proses hidrolisis dari trigliserida tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses hidrolisis dari trigliserida

Trigliserida dapat berwujud padat atau cair, dan hal ini tergantung dari komposisi asam lemak yang menyusunnya. (Ketaren, 1986). Asam lemak merupakan senyawa alifatik asam amino karboksilat yang dapat diperoleh dari hidrolisa



lemak. Asam lemak di bagi 2 yaitu asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh. Asam lemak jenuh adalah asam lemak yang tidak mempunyai ikatan rangkap, seperti : Asam Stearat (C18:0). Sedangkan asam lemak tidak jenuh adalah asam lemak yang mempunyai 1 atau lebih ikatan rangkap. Asam lemak tidak jenuh ini di bagi 3 yaitu :

1. Mempunyai 1 ikatan rangkap (*MUFA : Mono Unsaturated Fatty Acid*)  
Contoh : Asam Oleat (C18:1).
2. Mempunyai 2 ikatan rangkap (*DUFA : Di Unsaturated Fatty Acid*) Contoh :  
Asam Linoleat (C18:2).
3. Mempunyai lebih dari 3 ikatan rangkap (*PUFA : Poly Unsaturated Fatty Acid*) Contoh : Asam Linolenat (C18:3). (Almatsier, 2001).

Sebagian besar minyak nabati berbentuk cair karena mengandung sejumlah asam lemak tidak jenuh, yaitu asam oleat, linoleat, atau asam linolenat dengan titik cair yang rendah. Lemak hewani pada umumnya berbentuk padat pada suhu kamar karena banyak mengandung asam lemak jenuh, misalnya asam palmitat dan stearat yang mempunyai titik cair lebih tinggi, (Ketaren, 1986). Semua lemak bahan makanan yang berasal dari hewan dan sebagian besar minyak nabati mengandung asam lemak rantai panjang, minyak kelapa sawit mengandung asam lemak rantai sedang, asam lemak rantai sangat panjang terdapat dalam minyak ikan. Titik cair asam lemak meningkat dengan bertambahnya rantai karbon. Asam lemak bersama-sama dengan gliserol merupakan penyusun utama minyak nabati dan hewani. Asam lemak yang terkandung di dalam CPO sebagian besar adalah asam lemak jenuh yaitu asam palmitat. Asam lemak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal diantara atom-atom karbon penyusunnya, sedangkan asam lemak

tak jenuh mempunyai paling sedikit satu ikatan rangkap diantara atom-atom karbon penyusunnya. Asam lemak jenuh bersifat lebih stabil (tidak mudah bereaksi) dari pada asam lemak tak jenuh. Ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh mudah bereaksi dengan oksigen (mudah teroksidasi). Keberadaan ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh menjadikannya memiliki dua bentuk: cis yang bersifat tidak stabil dan trans yang bersifat stabil. Komposisi asam lemak dari CPO ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel. 2 Komposisi asam lemak dari minyak sawit

Asam Lemak	Konsentrasi (%)
<b>Saturated</b>	
Myristic	0,93
Palmitic	45,48
Stearic	3,49
Total	49,91
<b>Unsaturated</b>	
Oleat	40,17
Linoleat	9,92
Total	50,09

Sumber : (Purba,1999)

### 2.3. Pengolahan Minyak Sawit

Minyak sawit mengandung asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh yang ikatan molekulnya mudah dipisahkan dengan alkali, sehingga mudah dibentuk menjadi produk untuk beberapa keperluan, seperti untuk pelumas mesin dalam berbagai proses industry. Dengan kandungan kadar karotein yang tinggi, minyak sawit merupakan sumber provitamin A yang murah disbanding dengan bahan baku lainnya. Minyak sawit banyak digunakan sebagai bahan baku industri

pangan yang meliputi sekitar 12 macam bahan dari kelapa sawit, seperti karotein, tokoferol, asam lemak, olein, mentega, sabun, dan sebagainya. Minyak sawit dihasilkan dari proses ekstraksi bagian kulit atau sabut buah tersebut disebut minyak mentah atau dikenal dengan *Crude Palm Oil* (CPO) dan dari bagian biji buah disebut *Palm Kernel Oil* (PKO). Kedua jenis minyak mentah tersebut masih mengandung bahan ikutan seperti asam lemak bebas, fosfat, pigmen, bau, dan air. Biasanya proses ekstraksi minyak kelapa sawit ini dilanjutkan dengan proses *bleaching* (pemutihan) dan *deodorizing* (penghilang bau) agar minyak tersebut menjadi jernih, bening dan tak berbau atau biasa disebut *refined, bleached and deodorized* (RBD) stearin dan olein (Amang, 1996).

Pada industri *refinery* CPO terdapat beberapa tahapan proses antara lain penghilangan gum (*degumming*), penghilangan asam lemak bebas (netralisasi), pemucatan warna (*bleaching*) serta penghilangan bau (deodorisasi). *Refining* atau proses pemurnian adalah proses untuk menghilangkan zat-zat yang tidak dikehendaki yang ada dalam CPO, sehingga minyak bebas dari bau, FFA (rendah), dan residu lainnya (Amang, 1996). Proses pemurnian secara basah dapat digolongkan menjadi 4 kelompok proses yaitu proses pemurnian yang menggunakan alkali, pemutihan (*bleaching*), penghilang bau (*deodorizing*) dan penguapan. Pemurnian dengan alkali mempunyai tujuan untuk menghilangkan atau menetralisasi fosfat dengan cara memberi soda api. Pemutihan (*bleaching*) adalah proses untuk menghilangkan bahan-bahan warna yang terlarut dalam minyak. *Deodorizing* (penghilang bau) adalah proses terakhir dari proses pemurnian minyak yang mempunyai tujuan untuk menghilangkan bau yang keras maupun bau yang tidak normal (Amang, 1996).

#### 2.4. *Spent Bleaching Earth (SBE)*

Pemucatan (*bleaching*) ialah suatu tahap proses pemurnian untuk menghilangkan zat-zat warna yang tidak disukai dalam minyak. Proses pemucatan warna (*bleaching*) dapat dilakukan dengan berbagai macam *bleaching agent* seperti *bleaching clay* dan arang aktif. *Spent Bleaching earth (SBE)* masih mengandung 20-30% minyak nabati (Young, 1987). Bahkan menurut Lee *et al.* (2000) *Spent bleaching earth (SBE)* mengandung sekitar 30-40% minyak. Kandungan minyak ini berpotensi untuk diolah menjadi biosolar.

*Bleaching clay* atau *bleaching earth* merupakan sejenis tanah liat dengan komposisi utama terdiri dari  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , air terikat serta ion  $\text{Ca}^{2+}$ , magnesium oksida dan besi oksida. Daya pemucat *bleaching earth* disebabkan oleh ion  $\text{Al}^{3+}$  pada permukaan partikel penyerap, sehingga dapat mengadsorbsi zat warna dan tergantung perbandingan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{SiO}_2$  dalam *bleaching earth* (Ketaren, 1986). *Bleaching earth* yang digunakan di industri tersebut ada beberapa jenis antara lain, bentonit, *activated clay* dan arang aktif. Industri *refinery* minyak nabati di Indonesia umumnya menggunakan Ca-bentonit sebagai *bleaching agent*

Pada umumnya industri *refinery* minyak nabati akan menimbun SBE pada suatu lahan tertentu, karena berdasarkan PP No. 18 tahun 1999 limbah ini dapat dikategorikan sebagai limbah Bahan Buangan Berbahaya (limbah B3) yang dapat menimbulkan polusi dan reaksi pembakaran. *Spent Bleaching earth (SBE)* merupakan limbah bahan berbahaya beracun (limbah B3) yang menyebabkan polusi pada tanah, air dan udara akibat kandungan residu minyak. Akan tetapi limbah ini masih mengandung 20-30% minyak nabati dan merupakan bahan yang

sangat potensial untuk dimanfaatkan kembali. Minyak yang terkandung pada adsorben bekas ini dapat diperoleh kembali dengan proses recovery minyak, dan minyak hasil recovery dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel (metil ester). Selain itu, limbah ini dapat di-regenerasi sehingga dapat dimanfaatkan kembali sebagai bleaching agent dalam proses bleaching CPO.

## 2.5. Esterifikasi

**Reaksi esterifikasi adalah suatu reaksi antara asam karboksilat dan alkohol membentuk ester. Turunan asam karboksilat membentuk ester asam karboksilat. Ester asam karboksilat ialah suatu senyawa yang mengandung gugus  $-COO R$  dengan R dapat berupa alkil maupun aril. Esterifikasi dikatalisis asam dan bersifat dapat balik (Arita, 2008).** Esterifikasi biasa dilakukan untuk membuat biosolar dari minyak berkadar asam lemak bebas tinggi (bilangan asam  $\geq 5$  mg-KOH/g). Reaksi esterifikasi adalah konversi dari asam lemak bebas menjadi ester dengan mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Jenis katalis yang baik untuk proses esterifikasi adalah zat berkarakter asam kuat dan karena ini asam sulfat, asam sulfonat organik atau resin penukar kation asam kuat merupakan katalis – katalis yang biasa terpilih dalam praktek industrial.

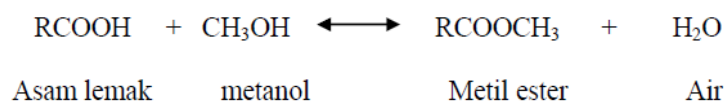
Esterifikasi adalah tahap konversi dari asam lemak bebas menjadi ester.

Esterifikasi mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Esterifikasi dapat dilaksanakan dengan menggunakan katalis padat (heterogen) atau katalis cair (homogen). Reaksi esterifikasi menurut Gerpen *et al.* (2004) ditunjukkan pada reaksi dibawah ini.

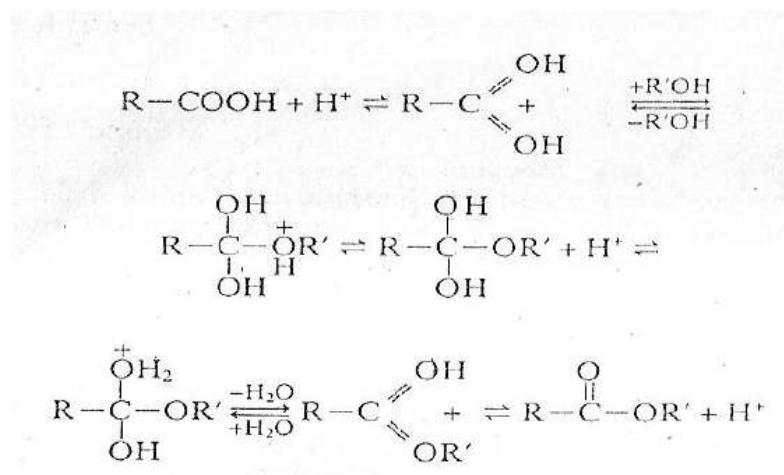


Reaksi esterifikasi berkatalis asam berjalan lebih lambat, namun metode ini lebih sesuai untuk minyak atau lemak yang memiliki kandungan asam lemak bebas relatif tinggi (Fukuda *et al.*, 2001), karena dari bentuk reaksi diatas, FFA yang terkandung di dalam trigliserida akan bereaksi dengan methanol membentuk metil ester dan air. Jadi semakin berkurang FFA, methanol akan bereaksi dengan trigliserida membentuk metil ester (Arita, 2008).

Mekanisme reaksi esterifikasi adalah :



Berikut merupakan gambar mekanisme reaksi esterifikasi dengan katalis asam adalah :



Gambar 2. Reaksi esterifikasi dengan katalis asam (Arita, 2008)

Faktor-faktor yang mempengaruhi pada reaksi esterifikasi antara lain:

1. Waktu reaksi

Semakin lama waktu reaksi maka kemungkinan kontak antara zat semakin besar sehingga akan menghasilkan konversi yang besar. Jika kesetimbangan reaksi sudah tercapai maka dengan bertambahnya waktu reaksi tidak akan menguntungkan karena tidak memperbesar hasil.

2. Pengadukan

Pengadukan akan menambah frekuensi tumbukan antara molekul zat pereaksi dengan zat yang bereaksi sehingga mempercepat reaksi

3. Katalisator

Katalisator berfungsi untuk mengurangi tenaga aktivasi pada suatu reaksi sehingga pada suhu tertentu harga konstanta kecepatan reaksi semakin besar. Pada reaksi esterifikasi yang sudah dilakukan biasanya menggunakan katalis antara 1-4% berat sampai 10% berat campuran pereaksi (Mc.Ketta, 1978).

4. Suhu reaksi

Semakin tinggi suhu yang dioperasikan maka semakin banyak konversi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan persamaan Arrhenius. Bila suhu naik maka harga  $k$  makin besar sehingga reaksi berjalan cepat dan hasil konversi makin besar. (Dharsono, *et al.* 2010).

## 2.6. Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah reaksi ester (biasa disebut dengan alkoholisis) adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkyl ester, melalui reaksi

dengan alkohol, dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol.

Transesterifikasi dapat menghasilkan biosolar yang lebih baik dari proses mikroemulifikasi, pencampuran dengan petrodiesel atau pirolisis (Sari, 2007).

Reaksi transesterifikasi untuk memproduksi biosolar tidak lain adalah reaksi alkoholisis, reaksi ini hampir sama dengan reaksi hidrolisis tetapi menggunakan alkohol. Reaksi ini bersifat *reversible* dan menghasilkan alkil ester dan gliserol.

Alkohol berlebih digunakan untuk memicu reaksi pembentukan produk (Sari, 2007). Transesterifikasi juga menggunakan katalis dalam reaksinya. Tanpa adanya katalis, konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan lambat. Katalis yang biasa digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis basa, karena katalis ini dapat mempercepat reaksi. Produk yang diinginkan dari reaksi transesterifikasi adalah ester metil asam-asam lemak. Katalis yang biasa digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis basa, karena katalis ini dapat mempercepat reaksi. Produk yang diinginkan dari reaksi transesterifikasi adalah ester metil asam-asam lemak.

Terdapat beberapa cara agar kesetimbangan lebih ke arah produk, yaitu:

1. Menambahkan metanol berlebih ke dalam reaksi
  2. Memisahkan gliserol
  3. Menurunkan temperatur reaksi (transesterifikasi merupakan reaksi eksoterm)
- (Arifin, 2013).

Menurut Swern (1982), jumlah alkohol yang dianjurkan sekitar 1,6 kali jumlah yang dibutuhkan secara teoritis. Jumlah alkohol yang lebih dari 1,75 kali jumlah teoritis tidak mempercepat reaksi bahkan mempersulit pemisahan gliserol



selanjutnya. Freedman (1984) menyebutkan bahwa untuk transesterifikasi menggunakan katalis basa, nisbah mol methanol: minyak sebesar 6:1 adalah optimal.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pada reaksi transesterifikasi antara lain :

#### 1. Pengaruh air dan asam lemak bebas

Minyak nabati yang akan ditransesterifikasi harus memiliki angka asam yang lebih kecil dari 1. Banyak peneliti yang menyarankan agar kandungan asam lemak bebas lebih kecil dari 0.5% ( $<0.5\%$ ). Selain itu, semua bahan yang akan digunakan harus bebas dari air. Karena air akan bereaksi dengan katalis, sehingga reaktivitas katalis menjadi berkurang. Katalis harus terhindar dari kontak dengan udara agar tidak mengalami reaksi dengan uap air dan karbon dioksida.

#### 2. Pengaruh perbandingan molar alkohol dengan bahan mentah

Secara stoikiometri, jumlah alkohol yang dibutuhkan untuk reaksi adalah 3 mol untuk setiap 1 mol trigliserida untuk memperoleh 3 mol alkil ester dan 1 mol gliserol. Perbandingan alkohol dengan minyak nabati 4,8:1 dapat menghasilkan konversi 98% (Bradshaw dan Meuly, 1944). Secara umum ditunjukkan bahwa semakin banyak jumlah alkohol yang digunakan, maka konversi yang diperoleh juga akan semakin bertambah. Pada rasio molar 6:1, setelah 1 jam konversi yang dihasilkan adalah 98-99%, sedangkan pada 3:1 adalah 74-89%. Nilai perbandingan yang terbaik adalah 6:1 karena dapat memberikan konversi yang maksimum.

### 3. Pengaruh jenis alkohol

Pada rasio 6:1, metanol akan memberikan perolehan ester yang tertinggi dibandingkan dengan menggunakan etanol atau butanol.

### 4. Pengaruh jenis katalis

Alkali katalis (katalis basa) akan mempercepat reaksi transesterifikasi bila dibandingkan dengan katalis asam. Katalis basa yang paling populer untuk reaksi transesterifikasi adalah natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), natrium metoksida ( $\text{NaOCH}_3$ ), dan kalium metoksida ( $\text{KOCH}_3$ ). Katalis sejati bagi reaksi sebenarnya adalah ion metilat (metoksida). Reaksi transesterifikasi akan menghasilkan konversi yang maksimum dengan jumlah katalis 0,5-1,5% -b minyak nabati. Jumlah katalis yang efektif untuk reaksi adalah 0,5% -b minyak nabati untuk natrium metoksida dan 1% -b minyak nabati untuk natrium hidroksida (Arifin, 2013)

## 2.7. Esterifikasi- Transesterifikasi *In Situ*

Pada umumnya proses pembuatan biodiesel melalui tahapan ekstraksi minyak, pemurnian minyak dan tahapan esterifikasi-transesterifikasi minyak menjadi biodiesel. Tahapan-tahapan proses yang harus dilalui menyebabkan rendahnya efisiensi dan tingginya konsumsi energi, yang mengakibatkan tingginya biaya produksi biodiesel. Sehingga, perlu dikembangkan proses pembuatan biodiesel yang lebih efisien melalui proses esterifikasi-transesterifikasi *in situ*. Esterifikasi atau transesterifikasi *in situ* adalah proses ekstraksi minyak dan reaksi esterifikasi atau transesterifikasi dilangsungkan secara simultan.

Proses produksi biodiesel dengan metode in situ pertama kali dilakukan oleh Harrington dan D'Arcy-Evans (1985). Proses ini berbeda dengan proses konvensional yang menggunakan bahan baku minyak atau lemak yang telah diekstrak dari bahan asalnya. Pada proses in situ bahan baku yang digunakan adalah bahan padatan yang mengandung minyak atau lemak. Proses ini dikenal dengan nama esterifikasi atau transesterifikasi in situ. Esterifikasi atau transesterifikasi in situ adalah proses ekstraksi minyak dan reaksi esterifikasi atau transesterifikasi dilangsungkan secara simultan dalam satu reaktor. Proses ini dinilai lebih efisien karena mengeliminasi tahap ekstraksi minyak sehingga akan mempersingkat waktu pemrosesan dan mengurangi kebutuhan energi (Haas *et al.*, 2004). Proses ini menggunakan alkohol yang berfungsi sebagai media pengekstrak sekaligus sebagai reaktan pada reaksi esterifikasi atau transesterifikasi sehingga diperlukan alkohol dalam jumlah yang lebih banyak. Mekanisme proses in situ dimulai dengan terjadinya kontak antara alkohol dan katalis asam atau basa. Selanjutnya alkohol masuk ke dalam sel dan menghancurkan bagian-bagian sel kemudian melarutkan minyak yang terkandung di dalam bahan baku. Minyak yang telah terekstrak bereaksi dengan alkohol menghasilkan alkil ester dengan bantuan katalis asam atau basa (Haas *et al.*, 2004).

### **III. BAHAN DAN METODE**

#### **3.1. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Analisis Kimia Hasil Pertanian Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada bulan Februari sampai dengan Oktober 2017.

#### **3.2. Bahan dan Alat**

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Spent Bleaching Earth* (SBE) dari PT. Bumi Waras Bandar Lampung. Bahan lainnya adalah metanol, NaOH, heksana (*co solvent*), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, indikator fenolftalein (PP), alkohol 96%, KOH, kloroform, larutan wijs, KI, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, indikator amilum, HCl dan aquades.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah labu leher tiga, kondensor, *thermometer*, *heater*, pengaduk, corong Buchner, kertas saring, pompa vakum, labu penyaring, erlenmeyer, gelas ukur, cawan porselen, pipet tetes, pipet *volumetric*, buret, statif dan klem, oven, dan labu pemisah.

#### **3.3. Metode Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dan disusun secara faktorial yaitu 2 faktor dalam 3 taraf dengan

3 kali ulangan. Faktor perlakuan berupa penambahan heksan yaitu  $P1 = 0$  ml,  $P2 = 50$  ml,  $P3 = 100$  ml dan waktu reaksi (esterifikasi: transesterifikasi) yaitu,  $W1 = 3:2$ ,  $W2 = 2:3$ ,  $W3 = 1:4$  (jam). Keragaman data diuji dengan uji Barlett dan kementerian data diuji dengan uji Tuckey. Data kemudian dianalisis dengan sidik ragam untuk mendapatkan penduga ragam galat dan uji signifikansi untuk mengetahui pengaruh antar perlakuan. Selanjutnya data diuji lanjut menggunakan Polinomial Ortogonal Polinomial Kontras pada taraf 5% dan 1%..

Tabel 3. Kombinasi Perlakuan.

Sampel	Keterangan:
P1W1	$P1 = 0 = 0$ ml Heksan $W1 = 3:2 = (3 \text{ jam Esterifikasi} : 2 \text{ jam Transesterifikasi})$
P1W2	$P1 = 0 = 0$ ml Heksan $W2 = 2:3 = (2 \text{ jam Esterifikasi} : 3 \text{ jam Transesterifikasi})$
P1W3	$P1 = 0 = 0$ ml Heksan $W3 = 1:4 = (1 \text{ jam Esterifikasi} : 4 \text{ jam Transesterifikasi})$
P2W1	$P2 = 1 = 50$ ml Heksan $W1 = 3:2 = (3 \text{ jam Esterifikasi} : 2 \text{ jam Transesterifikasi})$
P2W2	$P2 = 1 = 50$ ml Heksan $W2 = 2:3 = (2 \text{ jam Esterifikasi} : 3 \text{ jam Transesterifikasi})$
P2W3	$P2 = 1 = 50$ ml Heksan $W3 = 1:4 = (1 \text{ jam Esterifikasi} : 4 \text{ jam Transesterifikasi})$
P3W1	$P3 = 2 = 100$ ml Heksan $W1 = 3:2 = (3 \text{ jam Esterifikasi} : 2 \text{ jam Transesterifikasi})$
P3W2	$P3 = 2 = 100$ ml Heksan $W2 = 2:3 = (2 \text{ jam Esterifikasi} : 3 \text{ jam Transesterifikasi})$
P3W3	$P3 = 2 = 100$ ml Heksan $W3 = 1:4 = (1 \text{ jam Esterifikasi} : 4 \text{ jam Transesterifikasi})$

### 3.4 Prosedur Percobaan

#### 3.4.1 Karakterisasi *Spent Bleaching Earth* (SBE)

Tahap untuk mengetahui karakteristik SBE sebelum dilakukan proses produksi biosolar sekaligus untuk menentukan tahapan produksi menggunakan metode *in*

*situ* yang dilakukan. Analisis yang dilakukan meliputi kadar asam lemak bebas dan kandungan minyak nabati dalam SBE.

#### 1. Analisis Kadar Minyak dalam SBE (Metode Soxhletasi)

Proses analisis kadar minyak dalam *spent bleaching earth* dilakukan mengikuti prosedur pada penelitian Berlian *et al.* (2016). Metode penentuan kadar minyak yang terkandung didalam *spent bleaching earth* (SBE) adalah metode ekstraksi dengan soxhlet. Metode ini dilakukan dengan mengekstraksi 20 gram SBE kedalam labu didih dengan ditambahkan pelarut heksana sebanyak 500 ml. Setelah itu dihidupkan pemanas/heater dengan suhu 65<sup>0</sup>C. Proses ekstraksi berlangsung selama 6 jam. Setelah itu dilanjutkan dengan proses penguapan sisa pelarut yang ada pada minyak *spent bleaching earth* (SBE) dalam ruangan asam.

#### 2. Analisis Kadar Asam Lemak Bebas (ALB)

Proses analisis kadar asam lemak bebas dilakukan mengikuti prosedur pada penelitian Saad *et al.* (2007) yaitu dengan menimbang sebesar 10 ml minyak hasil ekstraksi dan dimasukkan kedalam erlenmeyer 250 ml. Setelah itu ditambahkan 25 ml etanol 96% dan dilanjutkan dengan proses pemanasan dengan suhu 40<sup>0</sup>C. Setelah itu dilanjutkan dengan penambahan 5 tetes indikator pp (fenolftalein) dan dilakukan proses titrasi dengan larutan KOH 0,1 N sampai muncul warna merah jambu dan tidak hilang warnanya selama 10 detik. Setelah itu dihitung besarnya nilai bilangan asam lemak bebas dengan rumus dibawah ini.

$$\text{Kadar Asam Lemak Bebas} = \frac{\text{mlKOH} \times \text{N KOH} \times \text{BM Asam Palmitat}}{1000 \times \text{Berat Minyak}} \times 100 \%$$

Bila kadar asam lemak bebas > 2 %, maka dilakukan reaksi esterifikasi, dengan menggunakan katalis asam untuk menurunkan kadar ALB% tersebut menjadi *ester alkil*, kemudian dilanjutkan dengan reaksi transesterifikasi.

### 3. Analisis kadar air

Proses analisis kadar air dilakukan mengikuti prosedur pada penelitian Pratama *et al.* (2012). Metode penentuan kadar air dapat dilakukan dengan memanaskan cawan porselen ke dalam oven pada suhu 105°C selama 30 menit. Kemudian cawan didinginkan dalam desikator untuk kemudian ditimbang beratnya. Ditimbang sampel *spent bleaching earth* sebanyak 5 gram, kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam dan setelah itu dimasukkan ke dalam desikator dan ditimbang beratnya (Perlakuan tersebut diulangi hingga diperoleh berat konstan yakni selis penimbangan berturut-turut 0.2 g

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{A-B}}{\text{B}} \times 100\%$$

Keterangan :

A = Berat sampel sebelum dipanaskan

B = Berat sampel setelah dipanaskan

### 3.4.2. Proses Esterifikasi *In Situ*

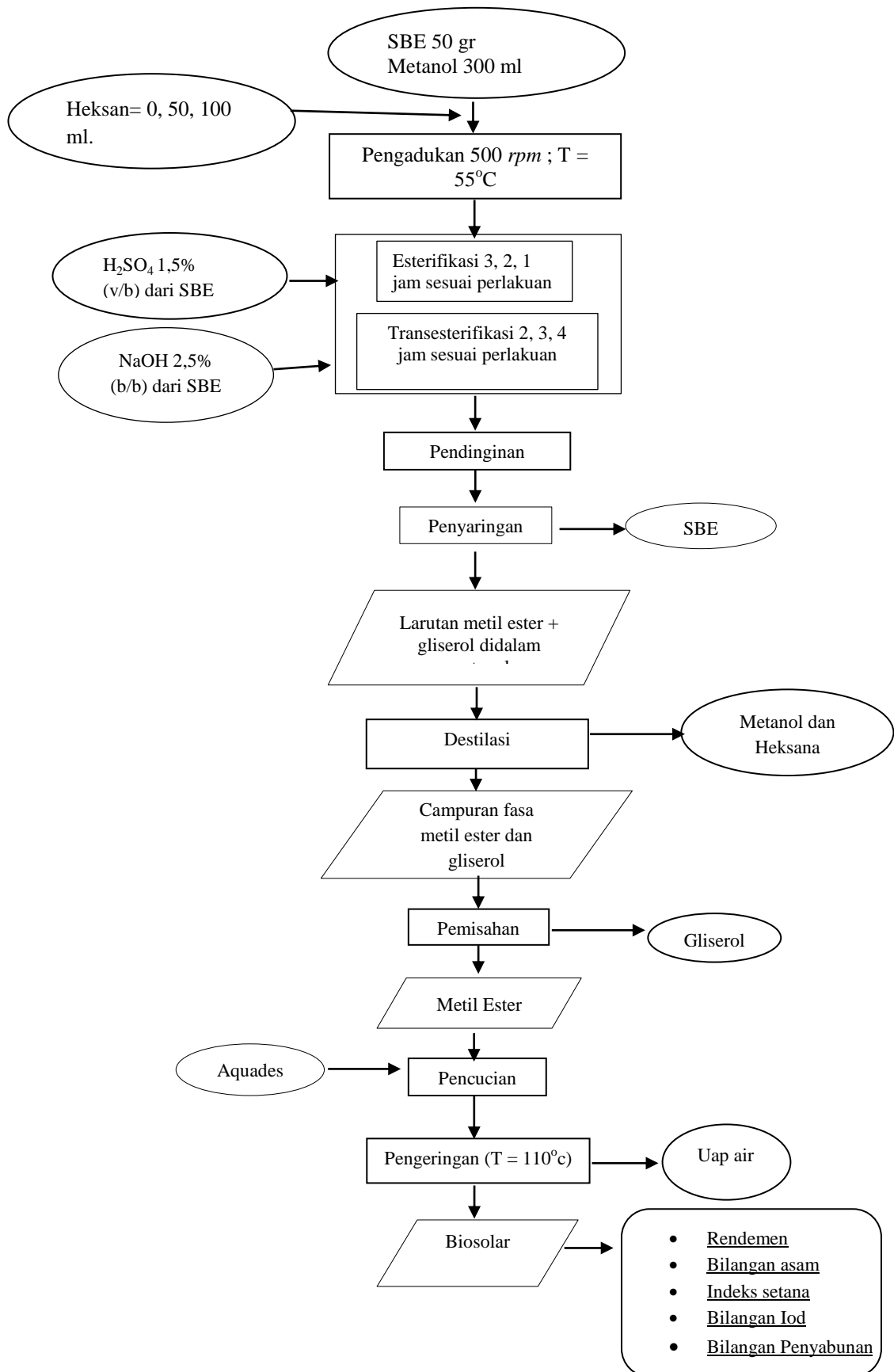
Proses produksi biosolar dilakukan dengan menambahkan 50 gram SBE dengan pelarut methanol sebanyak 300 ml, dan heksan yang ditambah disesuaikan dengan perlakuan (0 ml, 50 ml, 100 ml). Selanjutnya proses esterifikasi *in situ* dimulai pada saat penambahan katalis asam  $H_2SO_4$  sebanyak 1,5% (v/b) dari SBE (0,75 ml). Proses esterifikasi *in situ* berlangsung sesuai dengan perlakuan yaitu 3, 2, dan 1 jam.

### 3.4.3. Proses Transesterifikasi *In Situ*

Setelah waktu esterifikasi *in situ* tercapai, dilanjutkan dengan transesterifikasi *in situ*. Proses transesterifikasi *in situ* dimulai pada saat penambahan katalis basa NaOH sebanyak 2,5% (b/b) dari berat SBE. Waktu transesterifikasi *in situ* sesuai dengan perlakuan, yaitu 2, 3, dan 4 jam. Total waktu esterifikasi-transesterifikasi *in situ* adalah 5 jam, dengan rincian sebagai berikut : 3 jam esterifikasi *in situ* dilanjutkan dengan 2 jam transesterifikasi *in situ* (W1); 2 jam esterifikasi *in situ* dilanjutkan dengan 3 jam transesterifikasi *in situ* (W2), dan 1 jam esterifikasi *in situ* dilanjutkan dengan 4 jam transesterifikasi *in situ* (W3). Setelah itu bahan yang direaksikan dipisahkan antara *spent bleaching earth* dengan metanol yang mengandung minyak menggunakan pompa vakum yang dihubungkan dengan Erlenmeyer 500 ml yang telah terangkai dengan labu buchner. Setelah itu, pelarut dipisahkan dengan metil ester dan gliserol yang dihasilkan dengan menggunakan alat soxhlet. Setelah itu metil ester dan gliserol dimasukkan kedalam labu pemisah, diamkan sampai terbentuk 2 fasa yaitu fasa atas merupakan metil ester (biosolar) dan fasa bawah merupakan gliserol. Setelah itu dilakukan pencucian dengan



aquades yang bersuhu 60°C sebanyak 100 ml dengan 4 kali ulangan pencucian. Kemudian biosolar yang dihasilkan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C untuk menguapkan sisa air dan pelarut didalam biosolar selama 10 menit. Biosolar hasil reaksi transesterifikasi selanjutnya dikarakterisasi untuk menentukan rendemen, bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan iod dan indeks setana. Diagram alir proses transesterifikasi *in situ* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses pembuatan Biodiesel secara Esterifikasi dan Transesterifikasi *in situ* (Kusumaningtyas, 2011).

### 3.5. Prosedur Pengamatan

#### 3.5.1. Penentuan Rendemen Biosolar

Proses penentuan rendemen biosolar dilakukan mengikuti prosedur pada penelitian Suryani *et al.* (2014). Rendemen merupakan perbandingan berat biosolar dengan berat minyak awal. Untuk menghitung rendemen biosolar digunakan Persamaan sebagai berikut :

$$\text{Rendemen} = \frac{W_{\text{biosolar}}}{W_{\text{minyak}}} \times 100\%$$

Keterangan :

$W_{\text{biosolar}}$  = bobot biosolar (g)

$W_{\text{minyak}}$  = Bobot minyak (g)

#### 3.5.2. Penentuan Bilangan Asam

Proses penentuan bilangan asam dilakukan mengikuti prosedur pada penelitian Sulastrri (2011). Bilangan asam adalah ukuran jumlah asam lemak bebas, dihitung berdasarkan berat molekul dari asam lemak atau campuran asam lemak. Sampel biosolar sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 ml, kemudian ditambahkan 50 ml etanol 95%. Campuran tersebut dipanaskan pada suhu 65°C sambil diaduk, sampai berbentuk larutan yang homogen, selanjutnya dititrasi dengan larutan KOH 0.1 N dan menggunakan indikator fenolftalein (pp) 1% sampai terlihat perubahan warna merah jambu sebagai titik akhir titrasi.

$$\text{Bilangan Asam} = \frac{56,1 \text{ V N}}{M} \left( \frac{\text{mg KOH}}{\text{gram biosolar}} \right)$$

Keterangan :

V	:	volume KOH yang dibutuhkan pada titrasi (ml)
N	:	normalitas KOH
M	:	berat sampel biosolar (gram)
56,1	:	berat molekul KOH

### 3.5.3. Penentuan bilangan penyabunan

Proses penentuan bilangan penyabunan dilakukan mengikuti prosedur pada penelitian Sulastri (2011). Bilangan penyabunan dinyatakan sebagai banyaknya (mg) KOH yang dibutuhkan untuk menyabunkan 1 g minyak/lemak. Satu g biosolar dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer, kemudian ditambahkan 12,5 mL KOH-alkoholis 0,5 N. Selanjutnya labu Erlenmeyer dihubungkan dengan pendingin balik dan dididihkan selama 30 menit atau sampai semua sampel minyak tersabunkan (tidak terlihat butiran-butiran minyak). Setelah minyak tersabunkan sempurna, larutan didiamkan kurang lebih satu menit, kemudian ditambah 3-5 tetes indikator fenolftalein (PP) 1%, dan dititrasi dengan arutan HCl 0,5 N, hingga warna merah jambu hilang. Hasil titrasi sampel dibandingkan dengan blanko untuk mendapatkan bilangan penyabunan.

$$\text{Bilangan Penyabunan} = \frac{(V_b - V_s) \times N \times 56,1}{g}$$

Keterangan :

$V_b$  = volume HCl (mL) yang dibutuhkan untuk menitrasi blanko

$V_s$  = volume HCl (mL) yang dibutuhkan untuk menitrasi sampel minyak

N = normalitas larutan KOH-alkoholis

g = bobot biosolar

56,1 = berat ekuivalen KOH

#### 3.5.4. Penentuan Bilangan Iod

Proses penentuan bilangan iod dilakukan mengikuti prosedur pada penelitian Sulastri (2011). Biosolar sebanyak 0,5 g dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 250 mL yang dibungkus rapat dengan aluminium foil. Kemudian ke dalam labu Erlenmeyer tersebut ditambahkan 10 mL kloroform dan 25 mL larutan Wijs dan didiamkan selama 30 menit. Selanjutnya, ditambahkan 10 mL larutan KI 15% dan dikocok, lalu dititrasikan dengan larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,1 N hingga larutan berubah warna merah kekuningan menjadi kuning pucat. Setelah itu larutan tersebut ditetesi dengan larutan indikator amilum/kanji 4 tetes (larutan berubah menjadi berwarna kuning gelap), dan titrasi dilanjutkan hingga warna kuning tersebut hilang. Dengan cara yang sama dilakukan untuk blanko (tanpa sampel minyak).

$$\text{Bilangan Iod} = \frac{(V_b - V_s) \times N \times 12,69}{g}$$

Keterangan :

$V_b$  = mL tiosulfat yang dibutuhkan untuk menitrasi blanko

$V_s$  = mL tiosulfat yang dibutuhkan untuk menitrasi sampel minyak

N = normalitas tiosulfat

g = bobot minyak

12,69 = Berat ekuivalen iod / 10

1/10 = faktor konversi agar satuan menjadi g iod / 100 g minyak

### 3.5.5. Penentuan Indeks Setana

Penentuan indeks setana dengan metode AOCS (*American Oil Chemists' Society*) yang telah dilakukan pada penelitian Krisnangkura (1986) menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Indeks Setana} = 46,3 + \frac{5458}{x} - 0,225 y$$

Dimana :

x = Bilangan penyabunan

y = Bilangan iod

Angka 46,3 ; 5458 dan -0,225 merupakan suatu konstanta

## V. KESIMPULAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa perlakuan terbaik untuk menghasilkan biosolar secara transesterifikasi *in situ* diperoleh pada perlakuan P2W1 yaitu penambahan heksan 50 ml dan waktu reaksi 3 jam esterifikasi :2 jam transesterifikasi. Perlakuan ini menghasilkan rendemen biosolar dari *spent bleaching earth* (SBE) 18,96% dengan karakteristik biosolar meliputi bilangan asam 1,12 mg KOH/gram, bilangan penyabunan 87,89 mg KOH/gram, bilangan iod 74,10 gI<sub>2</sub>/100g, dan indeks setana 104,43.

### 5.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang proses pembuatan biosolar secara transesterifikasi *in situ* mengenai pengaruh perbandingan kecepatan pengadukan dan konsentrasi katalis terhadap rendemen dan karakteristik biosolar yang sesuai SNI 04-7182:2006

## DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, R.D.N. 2013. Produksi Biodiesel dari Lemak Sapi dengan Proses Transesterifikasi dengan Katalis Basa NaOH. Jurnal Teknik Kimia USU. Vol. 2. No. 1.
- Almatsier, S. 2001. Prinsip Dasar Ilmu Gizi. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Amang, B., Pantjar Simatupang dan Anas Rachman, 1996. Ekonomi Minyak Goreng di Indonesia. IPB Press. Jakarta.
- Arita, S. 2008. Pengaruh Waktu Esterifikasi Terhadap Proses Pembentukan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Biji Karet (rubber seed oil). Laporan Hasil Kemajuan Pekerjaan Dan Matrix Kemajuan Pekerjaan Semester II. UNSRI. Palembang.
- Azam, M. M., A. Warris, dan N. M. Nahar. 2005. Prospects and Potential of Fatty Acid Methyl Esters of Some Non-Traditional Seed Oils of Use as Biodiesel in India. Biomass and Bioenergy
- Aziz, I. 2007. Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas. Valensi, Vol. 1. No.1. hal 19-23.
- Badan Standarisasi Nasional, 2006. Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 04-7182: 2006 tentang Biodiesel. BSN. Jakarta
- Bradshaw, George., dan Meuly, Wlater, C. 1944. Preparation of Detergent. United States Patent Office. 2,360,844.
- Chanrai, N.G. and S. G. Burde. 2004. Recovery Oil From Spent Bleaching Earth. U.S. Patent. No. 6,780,321 B2.
- Depkes RI., 1995. Farmakope Indonesia. Edisi keempat. Jakarta. 948-951.
- Dharsono, Wulandari dan Oktari, Saptiana. 2010. Proses Pembuatan Biodiesel dari Dedak dan Metanol Dengan Esterifikasi In Situ. (Skripsi). Universitas Diponegoro. Semarang.
- Direktorat Jendral Perkebunan. 2016. Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas



Kelapa Sawit. Direktorat Jendral Perkebunan. Jakarta

- Edwar, Z., S. Heldrian, Y. Ety. and S. Sulastri. 2011. The Effect of High Temperatures to the Palm Oil and Corn Unsaturated Fatty Acids. *Journal of the Indonesia Medical Association*. 61:248-52.
- Freedman, B. Pryde .E.H. Mounts. T.L. 1984. Variables Affecting the Yields Of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 61: 1638
- Fukuda, H., Kondo, A., dan Noda, H. 2001. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal Biosei, Bioenergy* vol: 92 (5)405-416.
- Haas MJ, Karen MS, William NM, Thomas AF. 2004. In situ alkaline transesterification: and effective method for the production of fatty acid esters from vegetable oils. *J Am Oil Chem Soc*. 81: 83-89
- Hambali, E., S. Mujdalifah, A. Halomoan, Tambunan, A. W. Pattiwiri, dan R. Hendroko. 2008. *Teknologi Bioenergi*. Cetakan ketiga. PT. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Hendartono, T. 2005. Pemanfaatan Minyak dari Tumbuhan Untuk Pembuatan Biodiesel. [www.Biodiesel.org](http://www.Biodiesel.org). diakses pada tanggal 23 Januari 2018.
- Jain, S, dan Sharma, MP. 2010. Kinetics of acid base catalized transesterification of jatropha curcas oil. *Biores Technol*. 101: 7701-7706.
- Maharani, H. N. dan Zuliyana. 2010. Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak dan Metanol dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi. (Skripsi). Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Kartika, I. A., Yani, M. dan Hermawan, D. 2012. Transesterifikasi in situ Biji Jarak Pagar: Pengaruh Jenis Pereaksi, Kecepatan Pengadukan dan Temperatur Reaksi terhadap Rendemen dan Kualitas Biodisel. *Jurnal Teknologi Industri. Pertanian*. 21:24-33.
- Ketaren, S. 1986. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. Cetakan Pertama. UI-Press. Jakarta.
- Kheang, L.S., C.S. Foon, C.Y., May dan M.A. Ngan 2006, Malaysian Palm Oil Board. A Study of Residual Oils Recovered from Spent Bleaching Earth : Their Characteristics and Applications. *American Journal of Applied Sciences* 3 (10): 2063-2067.
- Knothe, G. 2005. Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Ester. *Fuel Processing Technology*. 86:1059–1070.

- Koezen, P., G. Eliza. and K. Boleslaw. 2008. Changes in the Acid Value of Butter During Storage at Different Temperatures as Assessed by Standard Methods or by FT-IR Spectroscopy, *American journal of Food Technology*. 3: 154-163.
- Kusumaningtyas, N.W. 2011. Proses Esterifikasi Transesterifikasi in situ Minyak Sawit dalam Tanah Pemucat Bekas untuk Proses Produksi Biodiesel. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Laili, N.A. 2011. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nabati. STTN Batam: Yogyakarta.
- Lee, D.W., Y.M. Park dan K.Y. Lee. 2009, Heterogeneous Base Catalysts for Transesterification in Biodiesel Synthesis. *Catalysis Surveys from Asia* 13 : 63-77.
- Lu, H. and Tan. 2009. A Comparative Study of Storage Stability in Virgin Coconut Oil and Extra Virgin Olive Oil Upon Thermal Treatment. *International Food Research Journal*. 16:343-345.
- Lukman, Arifin. 2013. Reaksi Esterifikasi Pembuatan Etil Asetat. <http://lukmanarifin5.blogspot.com/2013.05/esterifikasi.html>. diakses pada 29 Agustus 2016.
- Ma, F. dan M.A. Hanna. 1999. Biodiesel Production. Journal Series 12109. Agricultural Research Division Institute Agriculture and Natural Resourch University of Nebraska Lincoln
- Marchetti, J. M., V. U. Miguel dan A. F. Errazu. 2007. Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 11, No. 6 1300-1311.
- Mc. Ketta, J.J. 1988. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*. Marcell Dekker. New York.
- Mittelbach, M dan R. Claudia. 2004. Biodiesel The Comrehensive Handbook. Institute of Chemistry of the University of Graz. Germany.
- Monawaroh, S. 2010. Ekstraksi Minyak Daun Jeruk Purut (*Citrus hytrix*.D.C.) Dengan pelarut Etanol dan n-Heksan. *Jurnal Kompetensi Teknik* vol 2:1
- Munandar, Andika. 2014. Adsorpsi Logam Pb Dan Fe Dengan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sulfa. Makalah Pendamping. Prosiding Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia VI. Surakarta 21 Juni 2014.
- Nugrahani, R.A. 2008. Perancangan proses pembuatan pelumas dasar sintesis dari minyak jarak pagar (*Jatropha curcas* l.) melalui modifikasi kimiawi. Institut Pertanian Bogor.

- Nurhayati. 2014. *Teknologi Pemrosesan Biodiesel*. Teaching Biomass Technologies. Bandung. Hal: 83.
- Nurhida, P. 2004. Minyak Buah Kelapa Sawit.e-USU Reporsitory. Medan.Hal 2
- Pasang, P. M. 2007. Studi Efektivitas Transesterifikasi In Situ pada Ampas Kelapa (*CocosNucifera*) untuk Produksi Biodiesel (Tesis). Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Perry, R.H. 1984. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 6 ed., Mc.Graw Hill Book Company, Inc. New York.
- Purwanto, E., Y. Fransiscus, I. Soebroto. dan V. Indrawati. 2013. Sintesa Biodiesel Dari Mikroalga *Chlorella Vulgaris* melalui Reaksi Transesterifikasi in situ. (Skripsi). Universitas Surabaya. Surabaya.
- Prakoso, Tirta. 2003. Potensi Biodiesel Indonesia. Laboratorium Termofluida dan Sistem Utilitas, Departemen Teknik Kimia ITB. Bandung.
- Qian, J, F. Wang, S. Liu, dan Z.Yun. 2008. In situ Alkaline Transesterification of Cotton Seed Oil for Production of Biodiesel and Non Toxic Cotton Seed Meal. *Journal Bioresource Technology*vol 99:9009-9012.
- Ramadhas, A. S.S. Jayaraj, dan C.; Muraledharan. 2004. Biodiesel Production From high FFA Rubber Seed Oil. *Fuel* 84 : 335 – 340.
- Ritson, P. 2009. Pemanfaatan Arang Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jack) sebagai Adsorben B-Karoten pada Minyak Kasar Kelapa Sawit Crude Palm Oil (CPO). *Jurnal Bioprospek*, Vol. 7 : 1
- Sari, A. B. T. Proses Pembuatan Biodiesel Minyak Jarak Pagardengan Transesterifikasi Satu dan Dua Tahap. Departemen Teknologi IndustriPertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Selfiawati, E. 2003. Kajian Proses Degumming Netralisasi Pada Pemurnian Minyak Goreng Bekas. Fakultas Teknologi Pertanian IPB: Bogor.
- Sharma, Y.C., B. Singh. and S.N. Upadhyay. 2008. Advancements in Development and Characterization of Biodiesel: A review. *Fuel*. 87(12):2355-2373.
- Shiu, P.J., S. Gunawan, W.H. Hsieh, N.S. Kasim. and Y.H. Ju. 2010. Biodiesel Production from Rice Bran by a Two-Step *in situ* process. *Bioresource Technology*. 101:984-989.
- Sudarmadji, S., Haryono, B dan Suhardi. 2003. Analisa Bahan Makanan dan Pertanian. Edisi Kedua. Cetakan Kedua. Yogyakarta, 93-104

- Sufriani, T. 2006. Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas Oil*) dengan Proses Transesterifikasi. (Skripsi). Institute Teknologi Sepuluh November.
- Sulastri. 2011. Uji Sifat Fisiko-Kimia dan Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Mahoni (*Swietenia mahagoni* (L.) Jacq.). (Tesis). Universitas Indonesia. Depok.
- Suryani, A., Suprihatin dan M. Rifky. 2014. Penggunaan Model Pengaduk Pitched Blade Turbin dan Five Blade Turbin pada Produksi Biodiesel dari Residu Minyak dalam Tanah Pemucat Bekas (SBE) Secara In Situ. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 24 (1) : 72-81
- Suryani, A., P. Gustan. dan A. Aswa. 2015. Proses reaktivasi tanah pemucat bekas sebagai adsorben untuk pemurnian minyak sawit kasar dan biodiesel. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Swern, D. 1982. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. John Wiley & Sons. Vol 2. New York.
- Utami, S.W. 2010. Kajian proses produksi biodiesel melalui transesterifikasi in situ biji jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) pada berbagai kondisi operasi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Wibisono, Ardian. 2007. *Conoco Phillips Produksi Biodiesel dari Lemak Babi*. Jakarta.
- Young, F.V.K. 1987. Refining and Fractination of Palm Oil. In F.D. Gustone, Ed. *Palm Oil: Critical Reports On Applied Chemistry*. John Wiley and Sons. New York. Pages 39-69
- Zahrina, I. 2000. Studi Evaluasi Efektivitas Katalis Abu Tandan Sawit pada Metanolisis Stearin. Tesis Magister ITB. Bandung. 370