

**PENGARUH SUHU DAN WAKTU REAKSI TRANSESTERIFIKASI
PADA PEMBUATAN BIODIESEL DARI RESIDU MINYAK *SPENT*
BLEACHING EARTH (SBE)**

(Skripsi)

Oleh

ANISA ZAKIYAH



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

Effect of Transesterification Reaction Temperature and Time on Biodiesel Production from Spent Bleaching Earth (SBE) Oil Residue

By

Anisa Zakiyah

Spent Bleaching Earth (SBE) is a solid waste residue resulted from the processing of refining Crude Palm Oil (CPO), which becomes a serious threat to the environment is not handled properly. In other hand, Spent Bleaching Earth (SBE) contains 20-40% oil that can be extracted and utilized as raw material in biodiesel production. Oil residue from SBE can be converted to biodiesel through process called transesterification. Temperature and time are two factors that can influence the success of the transesterification reaction. Therefore, the purpose of this study are to determine the effect of temperature and reaction time and their interaction in the transesterification reaction on the yield and several quality parameters of the biodiesel produced. The method used in this research was a Randomized Complete Group Design (RAKL) with two factors of temperature (50 °C and 55 °C) and reaction time (60; 90; 120; and 150 minutes). Data were processed with Bartlet test to determine the homogeneity and Tuckey test to determine the multiplicity of data. Furthermore, the data were analyzed by means of variance and further tested by Polynomial Orthogonal. The results showed that temperature and reaction time had a significant linear effect on the yield, acid number, saponification number, iodine number, cetane index and water content. There is also a linear interaction between temperature and reaction time for the parameters tested, except for the parameters of the iodine number and cetane index.

Keywords: residue oil of spent bleaching earth, biodiesel, transesterification

ABSTRAK

PENGARUH SUHU DAN WAKTU REAKSI TRANSESTERIFIKASI PADA PEMBUATAN BIODIESEL DARI RESIDU MINYAK *SPENT BLEACHING EARTH* (SBE)

Oleh

Anisa Zakiyah

Spent Bleaching Earth (SBE) merupakan limbah padat dari proses pemurnian Crude Palm Oil (CPO) yang menjadi ancaman serius bagi lingkungan jika tidak ditangani dengan benar. Namun, *Spent Bleaching Earth* (SBE) mengandung 20-40% minyak yang dapat diekstrak dan dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Residu minyak dari SBE dapat diubah menjadi biodiesel melalui proses yang disebut transesterifikasi. Suhu dan waktu merupakan dua faktor yang dapat berpengaruh dari keberhasilan reaksi transesterifikasi. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu reaksi serta interaksi keduanya pada reaksi transesterifikasi terhadap rendemen serta beberapa parameter kualitas biodiesel yang dihasilkan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dengan dua faktor suhu (50 °C dan 55 °C) dan waktu reaksi (60;90;120;dan 150 menit). Data diolah dengan uji Bartlett untuk mengetahui keberagaman serta uji Tuckey untuk mengetahui kementerian data. Selanjutnya, data dianalisis sidik ragam dan diuji lebih lanjut dengan Polinomial Ortogonal. Hasil penelitian menunjukkan suhu dan waktu reaksi berpengaruh nyata secara linier terhadap rendemen, bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan iod, indeks setana serta kadar air. Terdapat pula interaksi secara linier antara suhu dan waktu reaksi terhadap parameter yang diuji, kecuali pada parameter bilangan iod dan indeks setana.

Kata kunci: residu minyak *Spent Bleaching Earth*, biodiesel, transesterifikasi

**PENGARUH SUHU DAN WAKTU REAKSI TRANSESTERIFIKASI
PADA PEMBUATAN BIODIESEL DARI RESIDU MINYAK *SPENT*
BLEACHING EARTH (SBE)**

Oleh

ANISA ZAKIYAH

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
2023**

Judul : **PENGARUH SUHU DAN WAKTU
REAKSITRANSESTERIFIKASI PADA
PEMBUATANBIODIESEL DARI RESIDU
MINYAK SPENTBLEACHING EARTH (SBE)**

Nama Mahasiswa : *Anisa Zakiyah*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1814051072

Program Studi : Teknologi Hasil Pertanian

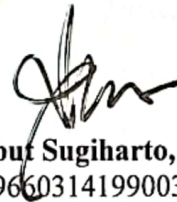
Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

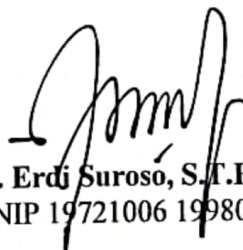


Dr. Ir. Subeki, M.Si., M.Sc.
NIP 19680409 199303 1 002



Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.
NIP 196603141990031009

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian



Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.
NIP 19721006 199803 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Ir. Subeki, M.Si., M.Sc.**



Sekretaris

: **Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



(**Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.**)

NIP. 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 November 2023

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Anisa Zakiyah
NPM : 1814051072

dengan ini menyatakan bahwa apa yang ditulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil 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, 21 Oktober 2023
Yang membuat pernyataan



Anisa Zakiyah
NPM. 1814051072

RIWAYAT HIDUP

Penulis Anisa Zakiyah, dilahirkan di Metro pada tanggal 28 Mei 2000, sebagai anak kelima dari lima bersaudara, dari pasangan Bapak Ismed Amir dan Ibu Lismawarnai. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Pertiwi Teladan Metro pada tahun 2012, kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 2 Metro dan lulus pada tahun 2015. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Metro dan lulus pada tahun 2018. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Tahun 2021, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Putra – Putri Daerah, di Kecamatan Metro Pusat, Kota Metro dengan tema “Pengabdian Putra – Putri Daerah terhadap Peningkatan Aspek Kehidupan”. Kemudian pada tahun yang sama 2021 penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PTPN VIII Kecamatan Pangalengan, Provinsi Jawa Barat dengan judul “*Pengolahan Teh Hitam Orthodox Serta Analisis Kapasitas Pengolahan Pabrik Untuk Optimalisasi Potensi Pucuk Segar Di PTPN VIII, Kebun Kertamanah, Bandung*”.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Badan Eksekutif Mahasiswa anggota departemen Pergerakan dan Pemberdayaan Wanita pada tahun 2019-2020 dan aktif pada kegiatan pengabdian masyarakat di Kelurahan Batu Putuk, Teluk Betung Barat pada tahun 2020-2021. Penulis pernah menjadi Asisten Praktikum mata kuliah Kimia Fisik semester ganjil tahun ajaran 2020/2021.

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada manusia yang paling mulia akhlaknya Baginda Rasulullah Muhammad Shallallahu'alaihi wasallam.

Skripsi dengan judul “Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Transesterifikasi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Residu Minyak *Spent Bleaching Earth* (SBE)” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknologi Hasil Pertanian di Universitas Lampung. Dalam penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, dan dorongan baik langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Ir. Subeki, M.Si., M.Sc., selaku dosen pembimbing satu, atas bantuan, saran, bimbingan dan motivasi dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi penulis.

Bapak Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc., selaku dosen pembimbing akademik dan pembimbing kedua yang telah memberi perhatian, bimbingan, bantuan, motivasi, dan nasihat kepada penulis selama perkuliahan dan penyusunan skripsi;

4. Bapak Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T., selaku penguji yang telah memberikan masukan, pengarahan, bimbingan, motivasi dan evaluasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi selama perkuliahan;
5. Bapak dan Ibu dosen pengajar, staf administrasi dan laboratorium yang telah memberikan ilmu, wawasan, dan bantuan kepada penulis selama kuliah;
6. Keluargaku tercinta, Bapak Ismed Amir, Ibu Lismawarni, serta uni dan abang atas doa, nasihat, motivasi yang sangat luar biasa, dan bantuan materi yang tidak akan mungkin terbalaskan;
7. Orang terdekatku dan sahabatku Alfandy, Adrian, Kak Vlad, Melak, Indah, Ulfa dan THP angkatan 2018 atas dukungan, semangat, doa dan bantuan kepada penulis selama pengerjaan skripsi;
8. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis sangat menyadari skripsi ini jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dan dapat memberikan manfaat bagi penulis serta pembaca.

Bandar Lampung, 21 Oktober 2023

Penulis,

Anisa Zakiyah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Kerangka Pemikiran	3
1.4 Hipotesis	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Minyak Kelapa Sawit	8
2.2 <i>Spent Bleaching Earth</i> (SBE)	10
2.3 Biodiesel	12
2.5 Transesterifikasi.....	16
2.6 Suhu Reaksi	17
III. METODOLOGI	18
3.1 Tempat dan Waktu.....	18
3.2 Bahan dan Alat	18
3.3 Metode Penelitian	18
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Penelitian Pendahuluan.....	34
4.2 Rendemen Biodiesel	32

4.3	Bilangan Asam Biodiesel	36
4.4	Bilangan Penyabunan Biodiesel	40
4.5	Bilangan Iod Biodiesel	43
4.6	Indeks Setana Biodiesel	46
4.7	Kadar Air Biodiesel	49
4.8	Perlakuan Terbaik	52
V.	KESIMPULAN	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
	DAFTAR PUSTAKA	59
	LAMPIRAN.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komponen minor dan karakteristik CPO.....	8
2. Komposisi asam lemak minyak kelapa sawit.....	9
3. Komposisi kimia bentonit	11
4. Perbandingan sifat biodeisel dengan petrodiesel	13
5. Spesifikasi mutu biodiesel SNI 7182:2015	14
6. Kombinasi perlakuan	19
7. Karakterisasi minyak <i>spent bleaching earth</i> (SBE).....	34
8. Pemingkatan dan pemberian nilai pada parameter biodiesel.....	53
9. Penentuan perlakuan terbaik	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bleaching earth.....	10
2. Spent bleaching earth	10
3. Reaksi esterifikasi lemak bebas dengan katalis asam	15
4. Reaksi transesterifikasi.....	16
5. Daigram alir proses ekstraksi minyak dalam SBE.....	20
6. Diagram alir pelaksanaan penelitian	20
7. Diagram alir proses esterifikasi minyak SBE	23
8. Diagram alir proses esterifikasi minyak SBE	24
9. Grafik peningkatan waktu reaksi transesterifikasi terhadap rendemen biodiesel.....	33
10. Grafik peningkatan suhu reaksi transesterifikasi terhadap rendemen biodiesel.....	34
11. Grafik peningkatan waktu reaksi transesterifikasi terhadap bilangan asam biodiesel	36
12. Grafik peningkatan suhu reaksi transesterifikasi terhadap bilangan asam biodiesel	38
13. Grafik peningkatan waktu reaksi transesterifikasi terhadap bilangan penyabunan biodiesel	40
14. Grafik peningkatan suhu reaksi transesterifikasi terhadap bilangan penyabunan biodiesel	41
15. Grafik peningkatan waktu reaksi transesterifikasi terhadap bilangan iod biodiesel.....	43
16. Grafik peningkatan suhu reaksi transesterifikasi terhadap bilangan iod biodiesel.....	44
17. Grafik peningkatan waktu reaksi transesterifikasi terhadap indeks setana biodiesel	46
18. Grafik peningkatan suhu reaksi transesterifikasi terhadap indeks setana biodiesel	47

19. Grafik peningkatan suhu dan waktu reaksi transesterifikasi terhadap kadar air biodiesel	50
---	----

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejak tahun 1980 hingga saat ini, perkembangan produksi minyak sawit dalam bentuk CPO terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan rata-rata 11,13% per tahun (Ditjenbun, 2019). Hal tersebut memposisikan Indonesia sebagai negara produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Tercatat total produksi CPO yang dihasilkan pada tahun 2020 sebesar 47,03 juta ton (GAPKI, 2021). CPO perlu dimurnikan atau *refining* agar dapat diolah menjadi produk turunan seperti minyak goreng ataupun produk hilir. Pada proses pemurnian terdapat beberapa tahap antara lain *degumming*, *neutralizing*, proses menghilangkan asam, *bleaching*, dan *deodorizing* (Fikri dan Kusumadewi, 2005).

Tahap *bleaching* menjadi salah satu tahap penting dalam proses karena akan menghilangkan komponen zat warna yang tidak dikehendaki pada minyak serta komponen pengotor lainnya berupa logam, air, gum, produk-produk oksidasi, serta asam fosfat berlebih yang merupakan sisa dari proses sebelumnya (Basiron, 2005). Zat adsorben yang mampu menyerap komponen warna serta komponen kotoran lainnya dalam proses pemucatan adalah tanah pemucat (*bleaching earth*). Proses pemucatan CPO umumnya menggunakan tanah pemucat (*bleaching earth*) dengan proporsi berkisar 0,5-2,0% dari massa total CPO yang diolah. *Bleaching earth* yang telah digunakan dalam proses pemucatan CPO akan berubah menjadi *spent bleaching earth* (SBE). Berdasarkan laporan kinerja tahunan pengelolaan limbah KLHK (Siraja Limbah), pada tahun 2019 tercatat SBE yang dihasilkan dari industri pengolahan minyak mencapai 778.894 ton dan baru diolah sebesar 51,47% dan sisanya sekitar 48,39% disimpan atau ditimbun. Kondisi anaerobik pada penyimpanan limbah SBE dapat mendorong terbentuknya gas metana yang

dihasilkan oleh mikroorganisme, yang jika terakumulasi cukup banyak diudara bisa menyumbang pencemaran udara melalui kontribusinya dalam penyimpanan panas yang dapat memperkuat proses pemanasan global (Kurniasari *et al.*, 2015). Kebutuhan CPO yang terus meningkat, maka akan memperbanyak jumlah SBE yang dihasilkan. Hal tersebut dapat menjadi masalah baru berupa penumpukan SBE bila penanganan limbah SBE dibiarkan begitu saja dan tidak dimanfaatkan secara maksimal.

Bleaching earth (BE) yang telah berubah menjadi SBE permukaan pori-porinya sudah tertutupi oleh komponen pengotor (gum, logam, fosfatida, asam lemak serta zat warna pada CPO) sehingga tidak mempunyai daya serap kembali (Chanrai dan Burge, 2004). SBE tidak dapat dibuang begitu saja di lingkungan. Hal ini dikarenakan SBE masih mengandung 20-30% komponen minyak dan asam lemak bebas, sehingga bila dibiarkan begitu saja akan berpotensi untuk kebakaran dilahan ataupun pencemaran lingkungan (Kheang, 2006). Melihat dari karkteristik SBE yang mengandung minyak sekitar 20-30% menjadikan SBE mudah teroksidasi oleh oksigen, serta dari reaksi oksidasi tersebut menimbulkan panas, sehingga SBE dapat memicu kebakaran dengan sendirinya ataupun spontan (*self ignition*). Dengan kandungan CPO yang masih tertinggal sebanyak 20-30% dalam SBE, menjadikan SBE salah satu sumber CPO yang cukup potensial dan dapat dimanfaatkan untuk dijadikan produk turunan (Restu *et al.*, 2023). Namun, karateristik ekstrak minyak dari SBE yang dihasilkan bersifat *non-eddible* karena mengandung Asam Lemak Bebas (ALB) yang cukup tinggi, sehingga produk turunan yang mungkin dihasilkan adalah bentuk biodiesel.

Proses ekstraksi diperlukan untuk mendapatkan ekstrak minyak yang terperangkap dalam SBE yang kemudian akan dilanjutkan proses transesterifikasi minyak dengan alkohol serta adanya katalis, untuk menghasilkan mono-alkyl ester dan gliserol, yang kemudian dipisahkan dan dimurnikan (Abdillah *et al.*, 2017). Menurut Wahyuni *et al.* (2016) pada proses transesterifikasi terdapat beragam faktor yang dapat mempengaruhi karateristik biodiesel yang dihasilkan diantaranya homogenisasi reaksi (pencampuran), nisbah pelarut, pengaruh jenis alkohol,

katalis, pengaruh suhu, waktu reaksi, kandungan air pada bahan, serta kecepatan pengadukan. Telah banyak dilakukan penelitian mengenai pengaruh suhu dan waktu reaksi pada pembuatan biodiesel yang bersumber dari minyak CPO, minyak jelantah dan minyak jarak. Namun belum banyak penelitian yang mengkaji pengaruh suhu dan waktu reaksi transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel yang bersumber dari ekstrak minyak SBE yang memenuhi standar SNI yang berlaku. Untuk itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh berbagai suhu dan waktu reaksi transesterifikasi yang bersumber dari ekstrak minyak SBE.

1.2 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh kondisi suhu reaksi transesterifikasi terhadap biodiesel yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh kondisi waktu reaksi transesterifikasi terhadap biodiesel yang dihasilkan.
3. Mengetahui interaksi antara suhu dan waktu reaksi dalam proses transesterifikasi terhadap produk biodiesel.
4. Mengetahui perlakuan terbaik dari suhu reaksi dan waktu reaksi dalam proses transesterifikasi terhadap produk biodiesel.

1.3 Kerangka Pemikiran

Spent bleaching earth (SBE) merupakan *bleaching earth* yang telah digunakan dalam proses pemucatan CPO yang masih mengandung minyak sawit sebesar 20-40% (Oladosu *et al.*, 2017). Komponen minyak pada SBE memiliki jumlah asam lemak bebas > 3% yang tidak layak untuk pangan tetapi berpotensi untuk dijadikan produk turunan seperti biodiesel (Hastuti *et al.*, 2015). Komponen minyak SBE memiliki kesamaan karakteristik dengan minyak jelantah dan CPO *off grade* yaitu tinggi kadar ALB nya, sehingga apabila diolah menjadi produk biodiesel akan memiliki kesamaan metode pengolahan. Ditinjau dari aspek

ekonomi, pengolahan minyak SBE menjadi biodiesel merupakan alternatif pengolahan limbah SBE yang sangat layak (Dharmawan *et al.*, 2018). Sehingga, pemanfaatan komponen minyak dalam SBE untuk dijadikan biodiesel perlu diteliti lebih lanjut.

Biodiesel tersusun atas asam lemak rantai panjang yang terdiri dari ester mono alkil yang umum disebut *fatty acid methyl ester* (FAME). FAME dihasilkan melalui proses transesterifikasi asam lemak dengan bantuan alkohol dan katalis untuk mempercepat reaksi (Berrios *et al.*, 2010). Produksi biodiesel yang dikehendaki ialah yang memiliki FAME yang tinggi diikuti beberapa parameter kualitas yang memenuhi standar SNI. Syarat suatu bahan dapat digunakan sebagai bahan baku untuk biodiesel yaitu apabila komposisi trigliserida diatas 95% serta memiliki asam lemak bebas antara 2-5% (Ayhan, 2009). Bahan baku yang memiliki kadar ALB yang melebihi 5% perlu diturunkan menjadi kurang dari 2% melalui esterifikasi dan dilanjutkan transesterifikasi. Kadar ALB yang tinggi jika langsung direaksikan dengan katalis dan metanol pada reaksi transesterifikasi akan mengakibatkan pembentukan sabun dan air sehingga menghambat pembentukan FAME (Knothe *et al.*, 2005). Rendemen *methyl ester* dalam proses transesterifikasi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya homogenisasi reaksi (pencampuran), nisbah pelarut, pengaruh jenis alkohol, katalis, pengaruh suhu, waktu reaksi, kandungan air pada bahan, serta kecepatan pengadukan (Wahyuni *et al.*, 2016).

Telah banyak penelitian dilakukan untuk mengkaji pengaruh kondisi suhu dan lama reaksi transesterifikasi yang menghasilkan rendemen biodiesel yang tinggi. Namun, pada penelitian tersebut menemukan bahwa kondisi suhu dan lama reaksi menghasilkan rendemen yang tidak konsisten dan sangat bervariasi hasilnya. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Leung dan Guo (2006) serta Alamu *et al.* (2007) menghasilkan temuan bahwa peningkatan waktu reaksi transesterifikasi tidak meningkatkan hasil mono alkil ester. Terdapat titik optimum dimana kenaikan suhu dan lamanya waktu reaksi tertentu akan menghasilkan konversi metil ester yang optimal (Naufal *et al.*, 2016). Kisaran suhu reaksi optimal yang

digunakan dalam proses transesterifikasi adalah dari 50 °C hingga 60 °C tergantung pada minyak atau lemak yang digunakan (Freedman *et al.*, 1984; Leung dan Guo, 2006; Ma dan Hanna, 1999).

Hasil rendemen biodiesel yang beragam dari penelitian terdahulu, memicu penelitian baru untuk menemukan pengaruh kondisi suhu dan waktu reaksi transesterifikasi serta bentuk interaksi keduanya terhadap rendemen biodiesel yang dihasilkan. Seperti yang dilakukan oleh Daramola *et al.* (2015) dalam penelitian pembuatan biodiesel dari transesterifikasi minyak jelantah menunjukkan hasil tidak ada interaksi antara suhu dan waktu reaksi pada biodiesel yang dihasilkan. Namun seiring peningkatan suhu reaksi yang dimulai dari 40 °C - 60 °C memberikan hasil peningkatan rendemen biodiesel dari 44,33% sampai 54,88%. Rendemen biodiesel tertinggi yang tercapai pada penelitian ini adalah 57,92% dengan kondisi reaksi pada suhu 64 °C, dengan perbandingan metanol dan minyak optimum (6:1), berat katalis 2,5%, dan waktu reaksi 240 menit.

Sedangkan penelitian yang dilakukan Sinaga *et al.* (2014) mengenai pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dengan perbandingan minyak jelantah terhadap methanol (1:6), perlakuan tiga variasi suhu (45 °C, 55 °C, 65 °C) dan tiga variasi waktu (5 menit, 10 menit, 30 menit) menunjukkan kenaikan suhu dan waktu reaksi berpengaruh pada peningkatan rendemen biodiesel yang dihasilkan. Kombinasi perlakuan yang optimum pada penelitian ini tercapai pada suhu 65 °C dan waktu 30 menit, yang dapat menghasilkan 72,87% metil ester dengan massa jenis 0,85 gram/ml, viskositas 1,65 cSt, dan bilangan asam 0,07%. Sedangkan rendemen terendah pada penelitian ini dicapai pada suhu 45 °C selama 5 menit sebesar 66,79%.

Esonye *et al.* (2019) menyatakan bahwa produksi ester optimal dari minyak biji *Prunus amigdalus* dicapai pada suhu reaksi 50 °C, waktu reaksi 65 menit, dengan perbandingan minyak dan methanol 1:5 (mol/mol) menghasilkan rendemen biodiesel sebesar 94,36%. Efendi *et al.* (2018) memproduksi biodiesel dari minyak jelantah yang sebelumnya sudah melewati proses penyaringan dan

degumming dengan kondisi proses transesterifikasi pada suhu 60 °C selama 60 menit serta perbandingan minyak dan methanol 1:6 (mol/mol) dan 0,1% w/w NaOH menghasilkan konversi rendemen rata-rata sebesar 83,268%. Karakteristik biodiesel yang dihasilkan memiliki nilai densitas rata-rata sebesar 0.86988 kg/m³, viskositas rata-rata sebesar 4.5440 cSt, bilangan asam rata-rata sebesar 0.372 mg-KOH/gram, kadar air rata-rata sebesar 0.0258%.

Penelitian yang dilakukan Erziza *et al.* (2016) tentang pembuatan biodiesel dari CPO dengan variasi suhu (50 °C, 60 °C, 70 °C) dan waktu rekasi (30 menit, 60 menit, 90 menit) menunjukkan setiap penambahan tingkat suhu menyebabkan peningkatan konversi dari produk biodiesel yang dihasilkan. Namun pada kondisi suhu 70 °C terjadi penurunan konversi. Terjadi penurunan hasil konversi juga ditunjukkan pada pengaruh waktu reaksi. Pada tingkat waktu yang lebih lama (90 menit) terjadi penurunan konversi biodiesel. Hal tersebut disebabkan sejumlah metanol yang digunakan sebagai pelarut sudah menguap (titik didih metanol 65 °C) sehingga metanol yang bereaksi dengan asam lemak bebas sebagian hilang teruapkan.

Yudha *et al.* (2018) memproduksi biodiesel dari minyak jelantah yang sebelumnya dilakukan proses *degumming*, esterifikasi, dan transesterifikasidengan kondisi suhu 60 °C selama 60 menit dengan penambahan NaOH sebanyak 0,5% dari berat minyak menghasilkan rendemen biodiesel sebesar 71,43% dengan komposisi metil ester sebesar 99,35%. Penelitian yang dilakukan Anisah *et al.* (2018) pada transesterifikasi minyak jelantah rumah tangga dengan variasi suhu (60; 90;120; 150 menit) menghasilkan konversi biodiesel maksimum sebesar 82,3433% pada nisbah molar (1:6) dengan katalis NaOH 1% pada waktu reaksi 60 menit dengan suhu 60 °C. Karakteristik biodiesel yang dihasilkan yaitu nilai densitas biodiesel sebesar 880 kg/m³, bilangan asam sebesar 0.27 mg-KOH/g, serta memiliki kadar air maksimal 0.05 .

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa, waktu dan suhu reaksi sangat mempengaruhi rendemen biodiesel yang dihasilkan. Namun

penelitian mengenai pengaruh suhu dan waktu reaksi pada biodiesel yang bersumber dari limbah *Spent Bleaching Earth* (SBE) belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, hasil-hasil penelitian sebelumnya menjadi dasar bagi peneliti untuk menentukan metode yang digunakan untuk diterapkan pada biodiesel yang berasal dari residu minyak dalam SBE, sehingga ditetapkan transesterifikasi pada variasi tingkat suhu (50 °C dan 55 °C) serta tingkat waktu reaksi (60; 90; 120; 150 menit) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap rendemen biodiesel serta karakteristik yang dihasilkan.

1.4 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini:

1. Terdapat pengaruh kondisi suhu reaksi transesterifikasi terhadap biodiesel yang dihasilkan.
2. Terdapat pengaruh kondisi waktu reaksi transesterifikasi terhadap biodiesel yang dihasilkan.
3. Terdapat interaksi antara suhu dan waktu reaksi dalam proses transesterifikasi terhadap produk biodiesel.
4. Terdapat perlakuan terbaik yang dihasilkan dari suhu reaksi dan waktu reaksi dalam proses transesterifikasi terhadap produk biodiesel.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit mentah dapat dihasilkan dari proses pengempaan daging buah sawit (mesokarp) yang disebut *Crude Palm Oil* (CPO) serta inti sawit yang akan menjadi *Palm Kernel Oil* (PKO). Hasil dari proses pengempaan kedua bagian tersebut, akan dihasilkan minyak yang masih mengandung komponen minor yang terdiri dari komponen asam lemak bebas, logam, zat warna yang cukup memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik fisik dan kimia dari CPO (Yusnimar *et al.*, 2012) (Tabel 1). Asam lemak bebas (ALB) merupakan salah satu komponen minor yang jumlahnya sangat menentukan proses pengolahan produk turunan. Contohnya pada pengolahan biodiesel kadar FFA sangat mempengaruhi tahap proses yang akan diterapkan. Komposisi minor dan karakteristik CPO disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen minor dan karakteristik CPO

Karakteristik	Kadar (%)
Asam Lemak Bebas (ALB)	3-5%
Karoten (mg/kg)	578.90 ± 8.04
Tokoferol (mg/kg)	1174.20 ± 29.58
Klorofil (mg/kg)	10.01 ± 0.05
Kadar Fe(mg/L)	3.23 ± 0.02
Kadar Cu (mg/kg)	0.51 ± 0.01
Bilangan Peroksida (mili-equivalent O ₂ /kg)	1.21 ± 0.12
Bilangan <i>p</i> -anisidin	7.46 ± 0.10
Bilangan Totox	9.88 ± 0.10
Bilangan TBARS (mg malonaldehid/kg)	1.02 ± 0.01

Sumber: Ayu, (2017)

Komponen utama berupa trigliserida yang terdapat pada minyak kelapa sawit dapat disajikan pada Tabel 2 dengan jumlah asam lemak tertinggi didominasi oleh asam lemak oleat 40% yang tergolong jenis asam lemak jenuh (Muchtar *et al.*, 2011). Jumlah asam lemak yang terkandung dalam CPO juga dipengaruhi oleh varietas kelapa sawit sehingga nilai tersebut dapat bervariasi. Berdasarkan sifat asam lemak, semakin jenuh molekul asam lemak dalam molekul trigliserida, semakin tinggi titik beku atau titik leleh minyak tersebut (Kusuma, 2012). Oleh karena itu, pada suhu ruang, CPO biasanya berada dalam fase semi padat meskipun asam oleat memiliki komposisi lebih tinggi dibandingkan asam palmitat.

Tabel 2. Komposisi asam lemak minyak kelapa sawit

Asam Lemak	Jumlah
Asam Laurat (C12:0)	<1%
Asam Miristat (C14:0)	<1%
Asam Palmitat (C16:0)	32-46,3%
Asam Palmitoleat (C16:1)	<1%
Asam Stearat (C18:0)	4-6,3%
Asam Oleat (C18:1)	37-53%
Asam Arakidat (C20:0)	<1%
Asam Linoleat (C18:2)	6-12%
Asam Gadoleat (C20:1)	<1%
Asam Linolenat (C18:3)	<1%

Sumber: Baoxiang, (2012)

CPO tidak dapat dibiarkan terpapar udara begitu saja, karena komponen asam lemak tak jenuh yang tinggi dikhawatirkan akan mengalami oksidasi yang akan menghasilkan komponen volatil yang dapat menimbulkan aroma tengik (Tirtaadmaja, 2019). Kandungan FFA pada CPO yang tinggi tidak diharapkan dalam suatu proses pengolahan produk pangan, karena akan memicu masalah kesehatan seperti nekrosis hepatosit (Ayu, 2017). Oleh karena itu CPO yang memiliki kadar FFA tinggi lebih tepat pemanfaatannya sebagai bahan baku produk non pangan seperti Biodiesel dan produk oleokimia. Pada pembuatan biodiesel CPO yang memiliki kadar FFA tinggi apabila direaksikan langsung dengan metanol dan basa kuat (NaOH) pada transesterifikasi akan menimbulkan reaksi penyabunan. Upaya penurunan FFA yang tinggi dapat dilakukan dengan menambah katalis asam cair yang kuat terlebih dahulu, seperti asam sulfat sebagai

langkah pretreatment yaitu proses esterifikasi sebelum transesterifikasi untuk menghindari terbentuknya sabun.

2.2 *Spent Bleaching Earth (SBE)*

Spent Bleaching Earth (SBE) merupakan *bleaching earth* yang telah digunakan dalam proses pemucatan. Warna semula *bleaching earth* umumnya adalah putih kekuningan (Gambar 1). Namun setelah melewati proses pemurnian CPO akan berubah warna menjadi coklat keabuan yang dapat disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. *Bleaching earth*
Sumber : Kementrian ESDM (2005)



Gambar 2. *Spent bleaching earth*
Sumber: Tirtaadmaja (2019)

Bleaching earth atau yang sering disebut dengan bentonit merupakan tanah lempung jenis *montmorillonite*, yang terdiri dari kristal alumunium silikat (SiO_2 ; Al_2O_3), air terikat, logam alkali seperti kalsium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO) dan logam transisi lainnya seperti besi oksida (Fe_2O_3) (Tsai *et al.*, 2002). Komposisi kimia *bleaching earth* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi kimia bentonit

Senyawa	Ca-Bentonit (%)	Na-Bentonit (%)
SiO_2	62,12	61,3-61,4
Al_2O_3	17,33	19,8
Fe_2O_3	5,3	3,9
CaO	3,68	0,6
MgO	3,30	1,3
Na_2O	0,50	2,2
K_2O	0,55	0,4
H_2O	7,22	7,2

Sumber: Kementerian ESDM, (2005)

Berdasarkan struktur *montmorillonite* serta keberadaan komponen mineral yang tinggi menyebabkan *bleaching earth* memiliki kapasitas penukaran ion yang tinggi. Keberadaan ion Al^{3+} pada permukaan pori *bleaching earth*/bentonit menyebabkan komponen karoten teradsorpsi dalam minyak CPO sehingga dihasilkan minyak yang lebih jernih (Ketaren, 2008). Kemampuan daya mengembang dan mengerut yang tinggi menjadi alasan kuat bentonit dapat menyerap dan memfiksasi ion logam serta senyawa organik.

Dalam proses pemucatan, selain komponen warna dan gum, komponen trigliserida juga mungkin dapat terserap. Menurut Khaeng *et al.* (2006) di dalam SBE masih mengandung komponen minyak sekitar 20-30%. Komponen minyak yang cukup tinggi ini bila dibiarkan menumpuk di tanah akan memicu masalah lingkungan, seperti kebakaran lahan, bau yang tidak sedap atau bahkan kerusakan unsur tanah. Berdasarkan kandungan minyak SBE yang cukup tinggi, maka terdapat solusi terbaik penanganan limbah SBE disamping mensiasati beban biaya penanganan limbah, tetapi juga sebagai upaya terciptanya produksi bersih di lingkungan industri dengan cara recovery minyak dari SBE untuk selanjutnya

dijadikan biodiesel. Menurut Oladosu *et al.* (2017) terdapat beberapa metode yang dapat dikembangkan untuk pemulihan minyak SBE antara lain *soxhlet extraction*, *membrane technology*, *subcritical water technology*, dan *supercritical fluid extraction*.

Berdasarkan penelitian Krisyanti dan Sukandar (2011) membandingkan metode soxhlet dan maserasi terhadap untuk melihat hasil rendemen minyak yang serta kualitas mutunya, metode soxlet menghasilkan rendemen lebih tinggi 19,07-24.14%, dibandingkan dengan metode maserasi menghasilkan rendemen lebih kecil berkisar 13,09-21,82%. Pada proses pembuatan biodiesel dari ekstrak minyak SBE tinggi rendemen sangat mempengaruhi jumlah akhir biodiesel. Semakin banyak minyak yang mampu diekstrak dari proses ekstraksi SBE maka akan semakin baik

2.3 Biodiesel

Biodiesel atau dengan nama kimia *fatty acid methyl ester* (FAME) merupakan produk hasil perombakan gliserida yang bersumber dari hewani atau nabati. Biodiesel termasuk energi terbarukan sebagai upaya pengganti minyak fosil. Metode yang sering digunakan dalam industri pembuatan biodiesel adalah transesterifikasi. Hal ini dikarenakan kondisi reaksi transesterifikasi lebih sederhana, dan relatif murah (Putri *et al.*, 2016). Metode transesterifikasi juga memiliki keterbatasan yaitu sensitif terhadap kemurnian dari reaktan, kadar asam lemak bebas (ALB), dan kandungan air reaktan. Ketika minyak memiliki asam lemak bebas dan air yang cukup tinggi, maka reaksi biodiesel tidak terbentuk melainkan menjadi sabun (Devita, 2015). Upaya untuk mengurangi asam lemak bebas, pada prosedur pembuatan biodiesel umumnya dilakukan proses esterifikasi dan setelah itu dilanjutkan proses transesterifikasi.

Banyak penelitian sudah membandingkan kelebihan biodiesel dengan minyak bumi dalam aspek lingkungan, seperti hasil penelitian Arita *et al.* (2020) menunjukkan bahwa kadar emisi gas (CO dan SO₂) buangan biodiesel lebih

rendah dibandingkan bahan bakar solar murni. Hal yang sama juga ditemukan pada penelitian Rubianto *et al.* (2013), menemukan bahwa biodiesel memiliki kontribusi untuk mengurangi partikulat emisi dari pembakaran pada burner boiler dengan penurunan sebesar 29,796% dibandingkan petrodiesel. Emisi partikulat dihasil dari pembakaran tidak sempurna bahan bakar, dan ukurannya yang relatif sangat kecil tersebut (0,1 μ m- 10nm) menjadikan komponen ini berbahaya bagi kesehatan jika terhirup manusia. Berdasarkan (Tabel 4) disajikan perbandingan biodiesel dengan petrodiesel berdasarkan sifat dan aspek lingkungan.

Tabel 4. Perbandingan sifat biodeisel dengan petrodiesel

Aspek	Biodiesel	Petrodiesel
Sifat pembakaran	Lebih bersih	Menimbulkan polusi dan masalah kesehatan
Emisi CO ₂	lebih ramah lingkungan	sehingga berkontribusi terhadap pemansan global
Sifat pelumasan	memiliki sifat pelumas	Tidak memiliki sifat Pelumas
Angka Setana	Lebih tinggi	Lebih rendah
Emisi padat dan gas buang	Lebih sedikit jelaga, CO, hidrokarbon tidak terbakar dan SO ₂	Kandungan sulfur tinggi dalam gas buangan
Efek terhadap lingkungan	Tidak beracun, dapat diurai dan mengurangi efek tumpahan minyak	Biodegradabilitasnya lebih rendah dibandingkan biodiesel, pemicu efek rumah kaca

Sumber: Budiman *et al.* (2018)

Energi biodiesel 10% lebih rendah dibandingkan diesel, sedangkan efisiensi bahan bakar dapat dikatakan hampir sama dengan diesel. Berdasarkan karakteristik yang dimiliki, dalam biodiesel terkandung 11% oksigen yang menyebabkan kandungan energinya berkurang, akan tetapi kadar emisi gas buangan (CO), Hidrokarbon partikulat dan jelaga jumlahnya lebih rendah dibandingkan diesel. Namun, kelemahannya kandungan asam lemak biodiesel yang cukup tidak stabil, menjadikan produk biodiesel belum sebaik dari diesel. Stabilitas ini menyebabkan kandungan ALB yang tinggi terbentuk, yang akan berpengaruh pada peningkatan

viskositas, terbentuknya sedimen dan gum yang berimbas pada penyumbatan saringan bahan bakar yang dapat menyebabkan kerusakan mesin (Pamata, 2008). Berdasarkan hal tersebut dibutuhkan standar mutu yang dapat menjadi acuan spesifikasi bahan bakar biodiesel yang dirumuskan melalui SNI 7182:2015 yang disajikan pada Tabel 5.

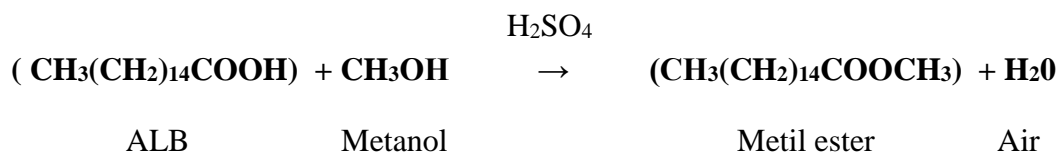
Tabel 5. Spesifikasi mutu biodiesel SNI 7182:2015

No	Parameter uji	Satuan	SNI 7182:2015
1	Angka setana	-	min 51
2	Viskositas kinemati (40 °C)	m ² s ⁻¹ (cSt)	2,3-6,0
3	Masa jenis (40 °C)	Kg/m ³	850-890
4	Nilai kalor	Kcal/Kg	maks 9938,76
5	Titik nyala	°C	min 100
6	Titik kabut	°C	maks 18
7	Air dan sedimen	%-vol	maks 0,05
8	Angka iodium	%-massa (gl ² /100g)	maks 115
9	Angka asam	Mg-KOH/g	maks 0,6
10	Residu karbon		
	-Dalam contoh asli	%-massa	maks 0,05
	-Dalam 10% ampas distilasi		maks 0,03
11	Temperatur distilasi	°C	360
12	Abu tersulfatkan	%-massa	maks 0,02
13	Belerang	mg/kg	maks 100
14	Fosfor	mg/kg	maks 10
15	Gliserol bebas	%-massa	maks 0,02
16	Kadar asetil alkil	%-massa	min 96,5
17	Metode rancimat	Menit	360
18	Indeks bias	-	1,3-1,45

Sumber: BSN, (2015)

2.4 Esterifikasi

Esterifikasi merupakan proses perubahan asam lemak bebas menjadi ester melalui pereaksian ALB dengan alkohol. Reaksi esterifikasi termasuk reaksi yang lambat, sehingga diperlukan katalis seperti asam sulfat untuk mempercepat reaksi. Ion H⁺ dari asam sulfat mendorong asam karboksilat untuk terprotonasi sehingga reaksi dapat terjadi. Reaksi esterifikasi dilakukan untuk mengurangi ALB yang tinggi agar tidak terjadi reaksi penyabunan (Devita, 2015). Reaksi esterifikasi disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Reaksi esterifikasi minyak ekstrak SBE dengan katalis asam
 Sumber : Alfianita, (2019)

Upaya mendorong reaksi agar bergerak ke arah produk diperlukan penambahan metanol berlebih, atau penghilangan molekul air dari fasa minyak. Selain dua hal tersebut reaksi esterifikasi dapat dipengaruhi oleh faktor lain. Menurut Wulandari Dharsono (2010) Terdapat empat faktor yang dapat mempengaruhi reaksi esterifikasi:

1. Suhu reaksi

Semakin tinggi suhu reaksi akan menghasilkan hasil konversi yang banyak. Berdasarkan hukum Archenius apabila suhu dinaikan maka kecepatan reaksi makin besar, reaksi akan berjalan cepat dan hasil konversi besar. Umumnya peningkatan suhu akan memperbesar energi kinetik antar molekul sehingga dari proses tumbukan antar molekul reaksi (metanol dan minyak) akan terdispersi secara merata dan bereaksi menghasilkan metil ester (Ketta, 1988).

2. Waktu reaksi

Semakin lama reaksi maka peluang kontak antar zat akan semakin besar, hal ini akan menghasilkan konversi yang besar. Namun jika reaksi sudah mencapai kesetimbangan, penambahan waktu reaksi tidak memperbesar hasil konversi.

3. Katalisator

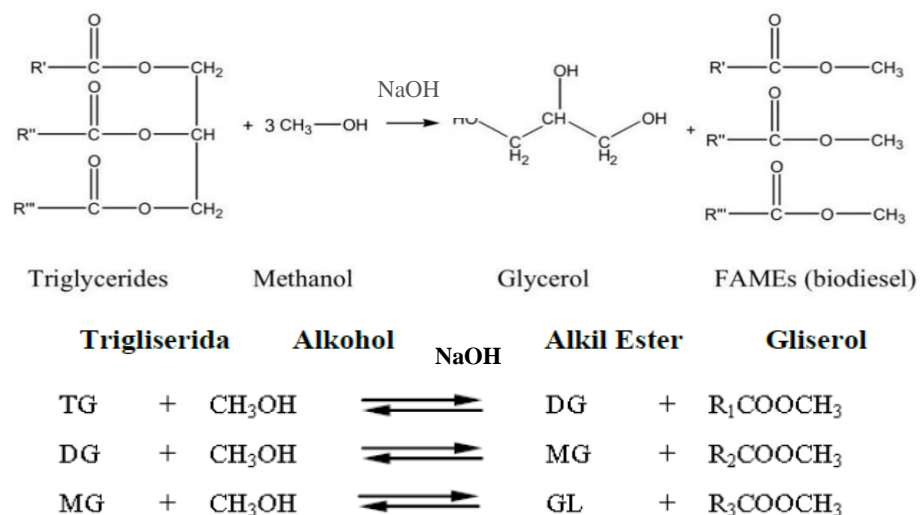
Fungsi dari pemberian katalis adalah mempercepat reaksi dengan menurunkan energi aktivasi dari suatu reaksi, sehingga pada suhu tertentu terjadi kecepatan reaksi semakin besar.

4. Pengadukan

Proses pengadukan akan menambah frekuensi tumbukan antar zat, sehingga mempercepat reaksi.

2.5 Transesterifikasi

Proses transesterifikasi merupakan rangkaian proses transformasi trigliserida yang bereaksi dengan alkohol untuk menjadi suatu produk metil ester dengan produk samping gliserol. Terdapat tiga tahap berturut-turut dalam proses transesterifikasi. Tahap awal yaitu perombakan ikatan karbonil trigliserida menjadi digliserida, digliserida dirombak menjadi monogliserida, kemudian monogliserida akan terkonversi menjadi gliserol yang menghasilkan satu molekul metil ester dari setiap gliserida. Reaksi transesterifikasi disajikan pada Gambar 4. Pada transesterifikasi juga ditambahkan katalis untuk mempercepat reaksi. Tanpa penambahan katalis, reaksi transesterifikasi tetap berjalan optimum namun membutuhkan waktu yang lama. Katalis yang umum digunakan adalah katalis basa. Selain menambah katalis, terdapat beberapa cara untuk mendorong reaksi ke arah produk diantaranya menambahkan metanol secara berlebih, memisahkan gliserol, dan menurunkan suhu reaksi (Budiman *et al.* 2018).



Gambar 4. Reaksi transesterifikasi
Sumber: Canakci dan Sanli (2008)

2.6 Suhu Reaksi

Suhu reaksi mempunyai peranan penting dalam kualitas produk. Suhu reaksi sangat mempengaruhi laju reaksi. Pada reaksi transesterifikasi tingkatan suhu sangat bergantung pada jenis minyak dan alkohol yang digunakan dalam proses. Semakin tinggi suhu yang digunakan maka semakin tinggi rendemen biodiesel yang dihasilkan. Hal ini dikaitkan dengan semakin tinggi suhu reaksi maka partikel reaktan akan bergerak lebih cepat sehingga tumbukan antar partikel lebih intens (Alfianita, 2019). Umumnya jangkauan suhu yang digunakan dalam proses transesterifikasi berkisar 50-65 °C, mendekati titik didih metanol. Penggunaan temperatur lebih tinggi dari titik didih metanol (68 °C) akan menyebabkan penguapan alkohol sebelum bereaksi dengan trigliserida, dan ini akan membuat hasil tidak maksimal dan meningkatkan biaya produksi. Apabila suhu lebih rendah dari 50 °C dapat menyebabkan penambahan viskositas pada biodiesel.

2.7 Waktu Reaksi

Waktu reaksi merupakan faktor penting lain yang akan mempengaruhi hasil biodiesel. Semakin lama waktu reaksi maka peluang tumbukan antar partikel reaktan akan semakin intens, suhu akan menjadi naik (Abdullah *et al.*, 2017). Eevera *et al.* (2009) dan Leung dan Guo (2006) menemukan bahwa peningkatan waktu reaksi di luar tingkat optimal menyebabkan penurunan biodiesel. Namun dengan meningkatnya waktu, maka suhu reaksi akan meningkat pula. Waktu reaksi juga dapat mempengaruhi viskositas kinematik, semakin lama waktu reaksi maka viskositas yang dihasilkan secara garis besar akan semakin kecil.

III. METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Analisis Kimia Hasil Pertanian dan Laboratorium Pengolahan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada bulan Februari 2022 sampai Agustus 2023.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Spent Bleaching Earth* (SBE), metanol, H_2SO_4 , $Na_2S_2O_3$, NaOH, aquades, metanol, heksana, KOH, kloroform, indikator amilum, HCl, larutan wijs, akuades, indikator fenolftalein dan etanol 96%.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah gelas ukur, labu leher tiga, labu lemak, Erlenmeyer, labu pemisah, buret, termometer, pengaduk, *hot plate magnetic stirrer*, pipet tetes, pipet volumetrik, kertas saring, kondensor, statif dan klem, tanur, destilator, cawan porselen, desikator, *soxhlet extractor* dan oven.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dan disusun secara faktorial yaitu 2 faktor dengan 3 kali ulangan. Faktor pertama yaitu suhu dengan 2 taraf intensitas 50 °C (S1) dan 55 °C (S2); faktor kedua yaitu waktu reaksi yang digunakan dengan 4 taraf yaitu 60 menit (W1), 90 menit (W2), 120 menit (W3), dan 150 menit (W4). Tata letak

perbandingan suhu, dan waktu reaksi yang digunakan pada proses transesterifikasi disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kombinasi perlakuan

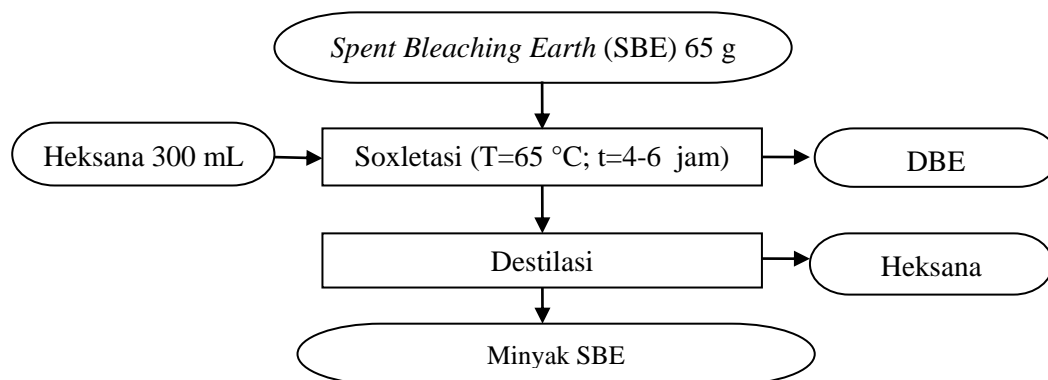
Suhu	Waktu Reaksi	Kode Sampel	Keterangan
S1	W1	S1W1	S1= 50 °C ; W1= 60 menit
	W2	S1W2	S1= 50 °C ; W2= 90 menit
	W3	S1W3	S1= 50 °C ; W3= 120 menit
	W4	S1W4	S1= 50 °C ; W4= 150 menit
S2	W1	S2 W1	S2= 55 °C ; W1= 60 menit
	W2	S2 W2	S2= 55 °C ; W2= 90 menit
	W3	S2 W3	S2= 55 °C ; W3= 120 menit
	W4	S2 W4	S2= 55 °C ; W4= 150 menit

Data hasil pengamatan dianalisis kesamaan ragam dengan uji Barlett untuk mengetahui kehomogenan data antar ulangan. Kementambahan data diuji dengan uji Tuckey. Data dianalisis dengan sidik ragam untuk mendapatkan penduga ragam galat dan uji signifikansi untuk mengetahui pengaruh antar perlakuan. Selanjutnya data diuji lanjut menggunakan Polinomial Ortogonal pada taraf 1% dan 5%.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Ekstraksi minyak SBE

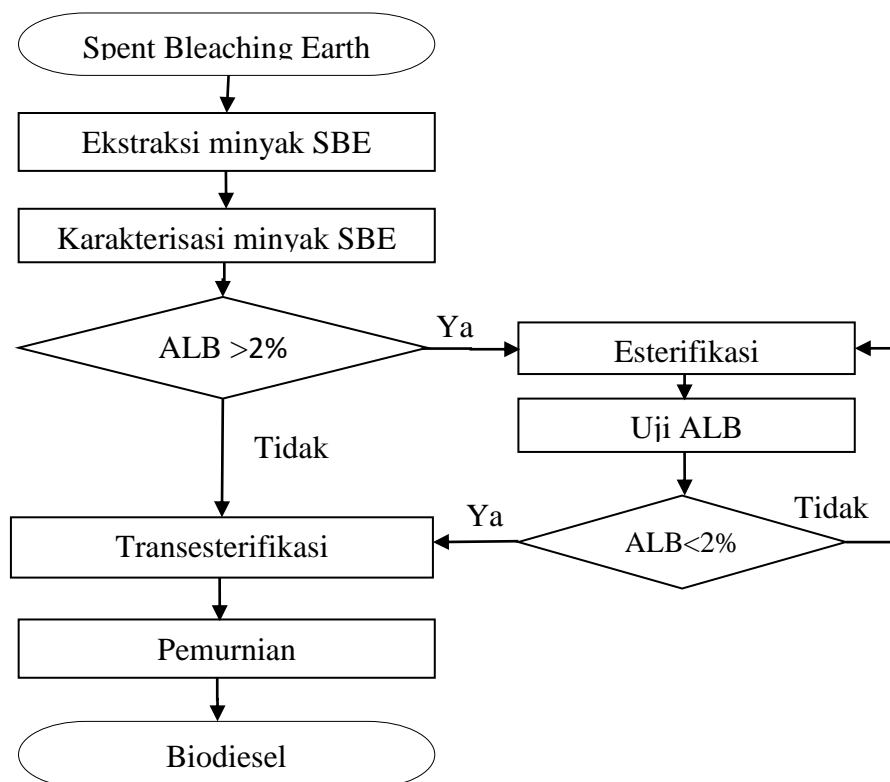
Pada penelitian ini prosedur pertama yang dilakukan adalah mengekstrak minyak yang terdapat dalam SBE untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Metode ekstraksi yang digunakan adalah *soxlethasi* menggunakan pelarut heksan yang membutuhkan waktu kurang lebih 4-6 jam dengan kondisi suhu proses 65 °C. Setelah proses ekstraksi selesai dilakukan, dilanjutkan proses destilasi untuk mengeluarkan pelarut heksan dalam ekstrak minyak. Selanjutnya minyak dilakukan karakterisasi berupa pengukuran kadar minyak, kadar asam lemak bebas (ALB), kadar abu, dan kadar air dalam *spent bleaching earth* (SBE). Diagram alir proses ekstraksi minyak dalam SBE disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Daigram alir proses ekstraksi minyak dalam SBE (Christabella, 2021) yang telah dimodifikasi

3.4.2 Karakterisasi ekstrak minyak SBE

Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian pendahuluan berupa karakterisasi ekstrak minyak SBE dan dilanjutkan penelitian inti berupa tahap proses produksi biodiesel. Tatalaksana penentuan metode produksi biodiesel disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram alir penentuan metode produksi biodiesel

Penelitian berikutnya adalah mengetahui karakteristik ekstrak minyak dari SBE untuk diolah menjadi biodiesel. Karakterisasi ekstrak minyak meliputi mengetahui kadar air, kadar abu dalam SBE, kadar minyak dalam SBE, dan kadar asam lemak bebas. Prosedur pada penelitian pendahuluan adalah:

1. Penentuan kadar air pada ekstrak minyak SBE

Prosedur uji kadar air mengacu pada SNI 01-2891-1992 dengan metode oven yang berprinsip pada kehilangan bobot pada pemanasan pada suhu 105 °C. Prosedur pengujian kadar air diawali dengan penimbangan sampel (ekstrak minyak SBE) sebanyak 5 gram dalam cawan porselen yang sebelumnya sudah dikeringkan dan ditimbang bobotnya. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven suhu 105 °C selama 3 jam. Kemudian didinginkan dalam desikator, ditimbang dan diulangi sampai diperoleh bobot konstan. Kadar air dapat dihitung melalui persamaan ini.

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

Keterangan:

A= Bobot biodiesel sebelum dikeringkan (gram)

B= Bobot cawan + biodiesel sebelum dikeringkan (gram)

C= Bobot cawan + biodiesel setelah dikeringkan (gram)

2. Penentuan kadar abu SBE

Prosedur uji kadar air mengacu pada SNI 01-2891-1992. Prosedur pengujian kadar abu diawali dengan penimbangan sampel (ekstrak minyak SBE) sebanyak 1-2 gram, kemudian dimasukkan dalam selongsong kertas saring yang sebelumnya sudah dikeringkan dan ditimbang bobotnya. Sampel kemudian diarakkan dalam tanur dengan suhu 550 °C sampai proses pengabuan sempurna. Kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang sampai diperoleh bobot konstan. Kadar abu dapat dihitung melalui persamaan ini.

$$\text{Kadar abu} = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \times 100\%$$

Keterangan:

W_1 = berat SBE sebelum diabukan (gram)

W_2 = berat SBE + cawan sesudah pengabuan (gram)

W = berat cawan kosong (gram)

3. Penentuan kadar ALB minyak SBE

Analisis kadar ALB mengacu pada SNI 01-2601-2006. Prosedur analisis diawali dengan menimbang sebanyak 5 gram sampel minyak SBE, selanjutnya dimasukkan dalam Erlenmeyer 250 mL dan ditambahkan 50 mL etanol 96% serta dipanaskan pada suhu 40 °C sampai sampel minyak terlarut. Selanjutnya sampel diteteskan sebanyak 1-2 tetes indikator fenolftalein dan dihomogenkan, Kemudian dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 N hingga sampel berubah warna menjadi merah muda yang stabil bertahan minimal 30 detik. Kadar ALB sampel dapat dihitung melalui persamaan ini.

$$\text{Kadar ALB} = \left(\frac{25,6 \times V \times N}{M} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

V = volume NaOH

N = normalitas NaOH

M = berat sampel (gram)

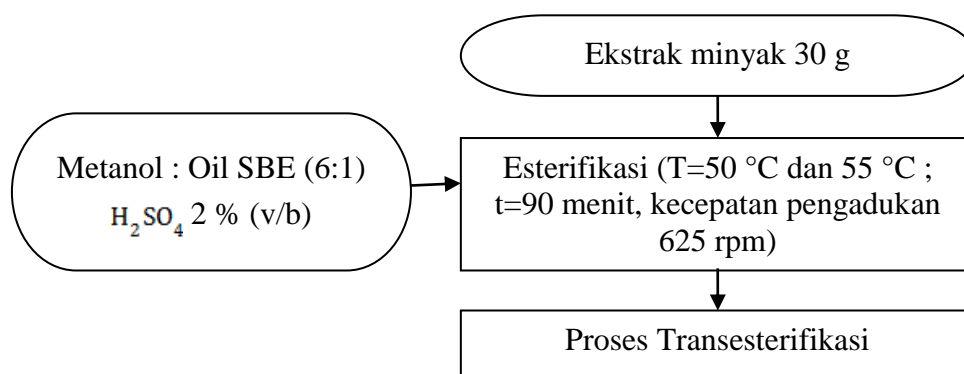
25,6 = bobot molekul ALB (asam palmitat)

3.4.3 Penelitian Utama

Pada penelitian pendahuluan setelah diketahui karakteristik ALB dari minyak SBE, selanjutnya dapat dilakukan penentuan proses produksi biodiesel yang terdiri dari tahap esterifikasi dan transesterifikasi ataupun transesterifikasi saja. Terdapat satu variabel bebas pada proses esterifikasi yaitu suhu reaksi 50 °C selama 90 menit. Sedangkan pada tahap transesterifikasi terdapat 2 variabel bebas dari proses transesterifikasi yaitu dua taraf suhu reaksi (50 °C dan 55 °C) dan empat taraf waktu reaksi yaitu 60, 90, 120, dan 150 menit.

1. Proses esterifikasi

Proses esterifikasi pada penelitian ini dilakukan dengan mereaksikan ekstrak minyak dari SBE dengan metanol dan katalis H_2SO_4 . Langkah pertama yang dilakukan yaitu pengukuran ekstrak minyak sebanyak 30 g, selanjutnya dilarutkan dalam metanol dengan perbandingan metanol dengan berat minyak secara berurutan (6:1). Kemudian ditambahkan katalis H_2SO_4 sebanyak 2% dari berat minyak. Pada proses esterifikasi berlangsung kurang lebih dalam 1 jam diberi perlakuan pengadukan dengan kecepatan 625 rpm dengan suhu kondisi $50\text{ }^\circ\text{C}$ selama 90 menit. Kemudian setelah tahap esterifikasi selesai, dilanjutkan proses transesterifikasi. Diagram alir proses transesterifikasi disajikan pada Gambar 7.

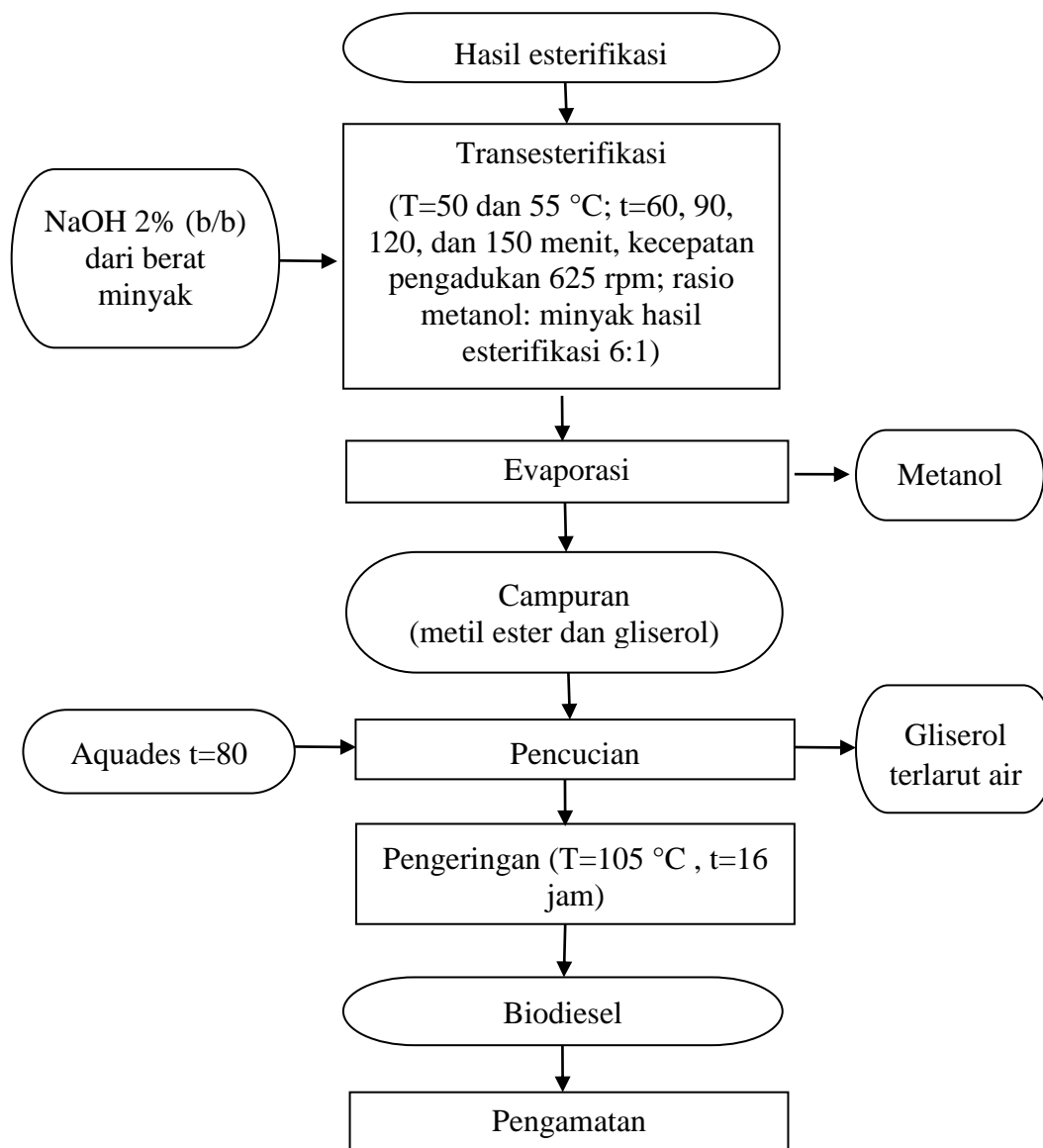


Gambar 7 Diagram alir proses esterifikasi minyak SBE (Yudha *et al.*, 2018) yang telah dimodifikasi

2. Proses Transesterifikasi

Pada proses transesterifikasi, sampel minyak yang sudah melewati proses esterifikasi selanjutnya ditambahkan katalis NaOH sebanyak 2% dari berat minyak awal dan diberi kecepatan pengadukan 625 rpm. Kondisi reaksi pada tahap transesterifikasi dilakukan pada suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$ dan $55\text{ }^\circ\text{C}$ dengan variasi waktu reaksi selama 60, 90, 120, dan 150 menit sesuai dengan kondisi perlakuan yang dapat dilihat pada Tabel 6. Setelah waktu proses transesterifikasi sudah tercapai proses dihentikan. Kemudian hasil transesterifikasi didinginkan sampai suhu ruang dan selanjutnya dilakukan proses destilasi untuk memisahkan sampel dengan metanol. Kemudian dicuci dengan akuades bersuhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ sebanyak 100 mL dengan pencucian berulang

sampai pH cucian netral. Selanjutnya sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C, selama 16 jam agar sisa air dan pelarut dalam biodiesel teruapkan. Kemudian biodiesel yang dihasilkan dianalisis untuk menentukan rendemen, kadar air, bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan iod dan indeks setana. Diagram alir proses transesterifikasi disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8 Diagram alir proses esterifikasi minyak SBE (Yudha *et al.*, 2018) yang telah dimodifikasi

3.5 Variabel Pengamatan

3.5.1 Penentuan rendemen biodiesel

Penentuan rendemen biodiesel mengacu pada pengujian yang dilakukan Suryani *et al.*, (2014) dengan perbandingan berat biodiesel dengan berat minyak awal sebelum melewati proses esterifikasi. Sebelum minyak memasuki proses esterifikasi-transesterifikasi ditimbang terlebih dahulu untuk mendapatkan bobot minyak awal. Selanjutnya setelah minyak melewati proses esterifikasi-transesterifikasi ditimbang kembali untuk memperoleh bobot biodiesel. Rendemen biodiesel dapat dihitung melalui persamaan ini.

$$\text{Rendemen biodiesel} = \frac{W \text{ biodiesel}}{W \text{ minyak}} \times 100\%$$

Keterangan:

W biodiesel = Berat biodiesel (gram)

W minyak = Berat minyak (gram)

3.5.2 Penentuan kadar air

Prosedur uji kadar air mengacu pada SNI 01-2891-1992 dengan metode oven yang berprinsip pada kehilangan bobot pada pemanasan pada suhu 105 °C. Posedur pengujian kadar air diawali dengan penimbangan sampel (biodiesel) sebanyak 1-2 gram dalam cawan porselen yang sebelumnya sudah dikeringkan dan ditimbang bobotnya. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven suhu 105 °C selama 3 jam. Kemudian didinginkan dalam desikator, ditimbang dan diulangi sampai diperoleh bobot konstan. Kadar air dapat dihitung melalui persamaan ini.

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

Keterangan:

A= Bobot biodiesel sebelum dikeringkan (gram)

B= Bobot cawan + biodiesel sebelum dikeringkan (gram)

C= Bobot cawan + biodiesel setelah dikeringkan (gram)

3.5.3 Penentuan bilangan asam

Analisis angka asam mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Sulastri (2011) yang dihitung berdasarkan berat molekul dari campuran asam lemak. Prosedur diawali dengan ditimbang sebanyak 1 gram cuplikan dan dimasukkan kedalam Erlenmeyer 250 mL, selanjutnya ditambahkan etanol 96% sebanyak 50 mL dan dipanaskan pada suhu 65 °C sambil diaduk sampai larutan homogen. Selanjutnya diteteskan indikator fenolftalein (pp) 1% sebanyak 3-5 tetes dan dihomogenkan. Kemudian dititrasi dengan KOH 0,1 N sampai terbentuk warna merah muda yang stabil dengan ketahanan kurang lebih 15 detik. Angka asam selanjutnya dapat dihitung melalui persamaan ini.

$$\text{Bilangan asam} = \frac{56,1 \times V \times N}{m}$$

Keterangan:

V = volume KOH yang dibutuhkan pada titrasi (ml)

N = normalitas KOH

M = berat sampel biodiesel (gram)

56,1= berat molekul KOH

3.5.4 Penentuan bilangan iod

Analisis bilangan iod biodiesel mengacu pada SNI 01-3555-1998. Prosedur diawali dengan ditimbang cuplikan sebanyak 0,4 gram pada Erlenmeyer dan dipanaskan. Selanjutnya ditambahkan 15 mL kloroform seta 25 mL pereaksi Wijs. Cuplikan ditempatkan pada ruang glapselama 60 menit sambil sesekali dikocok. Cuplikan ditambahkan 10 ml larutan KI 20% yang terlarut dalam 100 mL aquades dan selanjutnya Erlenmeyer ditutup. Cuplikan dititrasi dengan (tiosulfat) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N dengan dikocok secara konstan sampai menghilang warna kuning dari cuplikan. Selanjutnya, ditambahkan 1-2 mL indikator kanji/ amilum sebanyak 1% dan dilakukan titrasi hingga warna biru pada cuplikan menghilang. Pada prosedur persiapan blanko dibuat dalam waktu dan kondisi sama namun tidak ada penambahan minyak. Bilangan Iod dapat dihitung melalui persamaan ini.

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

Keterangan:

V_b = volume tiosulfat yang dibutuhkan untuk menitrasi blanko (mL)

V_m = volume tiosulfat yang dibutuhkan untuk menitrasi cuplikan (minyak)

N = normalitas tiosulfat

12,69 = berat ekuivalen iod/10

m = masa biodiesel (gram)

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

3.5.5 Penentuan bilangan penyabunan

Analisis Bilangan penyabun mengacu pada prosedur pengujian Sulastri (2011). Prosedur diawali dengan ditimbang sebanyak 1 gram biodiesel kemudian masukan dalam Erlenmeyer, kemudian ditambahkan 12,5 ml KOH-alkoholis 0,5 N. Selanjutnya dihubungkan dengan pendingin balik dan dididihkan kurang lebih 30 menit sampai sampel berubah menjadi sabun keseluruhan. Selanjutnya didiamkan selama 1 menit dan diteteskan 3-5 tetes indikator fenolftalein (PP) 1% dan dititrasi dengan HCl 0,5 sampai warna merah jambu menghilang. Bilangan penyabun dapat dihitung melalui persamaan ini.

$$\text{Bilangan penyabunan} = \frac{(V_b - V_m) \times N \times 56,1}{m}$$

Keterangan:

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

V_m = volume HCl yang dibutuhkan untuk menitrasi cuplikan (minyak) (mL)

N = normalitas KOH-alkoholis

56,1 = berat ekuivalen KOH

m = masa biodiesel (gram)

3.5.6 Penentuan indeks setana

Prosedur pengujian indeks setana mengacu pada metode AOCS (*American Oil Chemist Society*) yang dapat dihitung melalui persamaan yang dihasilkan dari

penelitian (Krisnangkura, 1986). Persamaan ini selaras dengan persamaan klopfenstein indeks setana asam lemak yang dipengaruhi 2 variabel independen yaitu bilangan penyabun dan bilangan iod. Sehingga untuk memperoleh indeks setana dapat dihitung melalui persamaan ini.

$$\text{Indeks sertana} = 46,3 + \left(\frac{5458}{x}\right) - 0,225 y$$

Keterangan:

x = bilangan penyabun

y = bilangan iod

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

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh dapat disimpulkan:

1. Suhu reaksi berpengaruh terhadap rendemen, bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan iod dan indeks setana biodiesel yang dihasilkan.
2. Waktu reaksi berpengaruh terhadap rendemen, bilangan asam, bilangan iod, bilangan penyabunan, indeks setana dan kadar air biodiesel yang dihasilkan.
3. Terdapat interaksi antara perlakuan suhu dan waktu reaksi terhadap rendemen, bilangan asam, bilangan iod, dan kadar air. Namun, tidak berlaku pada bilangan penyabunan dan kadar air biodiesel yang dihasilkan.
4. Suhu reaksi terbaik dan waktu reaksi terbaik dalam penelitian ini adalah perlakuan S2W4 yaitu suhu reaksi 55 °C dan waktu reaksi 150 menit yang menghasilkan biodiesel dengan rata-rata rendemen 54,37%; bilangan asam 0,92 mg KOH/gram; bilangan penyabunan 109,74 mg KOH/gram ; bilangan iod 50,95 g I₂/100 g; indeks setana 84,59 ; dan kadar air 4,92%.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan kajian lebih lanjut pada tahap proses pembuatan biodiesel serta pemurniannya yang dapat digantikan dengan pelarut yang nonpolar untuk memisahkan komponen metil ester dari gliserol sehingga

mengurangi interaksi air terhadap produk biodiesel agar dapat memenuhi syarat kadar air SNI 7182 : 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Savitri, A., dan Irwan, A. 2017. Pengaruh Temperatur dan Waktu Reaksi pada Karakteristik Biodiesel Hasil Transesterifikasi Minyak Sawit Dengan Sistem Pelarut Petroleum Benzin. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*. 11(1): 37-44 hlm.
- Akbar, A. M. 2012. Optimasi Ekstraksi Spent Bleaching Earth Dalam Recovery Minyak Sawit. Skripsi. Fakultas Teknik Program Studi Teknik Kimia Universitas Indonesia. Depok. 104 hlm.
- Alamu, O. J., Waheed, M. A., Jekayinfa, S. O., and Akintola, T. A. 2007. Optimal transesterification duration for biodiesel production from nigerian palm kernel oil. *Agric Eng Int. CIGR Ejournal*. IX.:17-24 pp.
- Alfianita, R. A. L. 2019. Pengaruh Variasi Waktu Dan Suhu Terhadap Rendemen Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Katalis Abu Layang Batubara (Fly Ash) Melalui Proses Transesterifikasi. Skripsi . Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta. 96 hlm.
- Ani, Y. A., Ali, L. M., and Ayuddi, N. S. E. 2020. Potential of Spent Bleach Earth Waste as a Green Biodiesel. *International Science, Technology and Engineering Conference*. 4 – 6 pp.
- Anisah, P. M., Suwandi, dan Agustian, E. 2018. Pengaruh Waktu Transesterifikasi Terhadap Konversi Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel. *E-Proceeding of Engineering*. Vol 5(1):912-916 hlm.
- Arita, S., Rifqi, M., Nugroho, T., Agustina, T. E., dan Hadiyah, F. 2020. Pembuatan biodiesel dari limbah cair kelapa sawit dengan variasi katalis asam sulfat pada proses esterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*. 26(1): 1-11 hlm.
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Abdul, A. A. R., and Sulaiman, N. M. N. 2013. The Effects of Catalysts in Biodiesel Production: A Review. *J Ind Eng Chem*. 19(1) : 14–26 pp.
- Ayhan, D. 2009. Production of biodiesel fuels from linseed oil using methanol and ethanol in non-catalytic SCF conditions. *J Biomassa and Bioenergy*. 33:113–118pp.

- Ayu, D. F. 2017. *Perubahan Komponen Miror, Karakteristik Kimia, dan Komposisi Asam Lemak Selama Pemurnian Minyak Sawit Merah*. Univerisitas Riau. 8 hlm.
- Azam, M. M., Waris, A., and Nahar, N. M. 2005. Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India. *Biomass and Bioenergy Journal*. 29(4): 293-302 pp.
- Basiron, Y. 2005. *Palm Oil*. In : *Bailey's Industrial Oil and Fat Products 6 th ed.* A John Wiley & Sons, Inc. New Jersey. 208 pp.
- Baoxiang, P. 2012. Transformation of Triglycerides and Fatty Acid into Biofuels with Sulfur-free Catalysts. Dissertation. Technische Universitat Munchen. 128 pp.
- Berrios, M., Martin, M. A., Chica, A. F., and Martin, A. 2010. Study of Esterufication and Transesterification in Biodiesel Production from Used Frying Oils in Aclosed System. *Chemical Engineering Journal*. 160 : 473-479 pp.
- Berchmans, H. J., and Hirata, S. 2008. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource Technology Journal*. 99(6): 1716–1721 pp.
- Budiman, A., Kusumaningtyas, R. D., dan Pradana, Y. S. 2018. *Biodiesel: Bahan Baku, Proses, dan Teknologi*. UGM PRESS. Yogyakarta :15-23 hlm.
- BSN. 1992. Cara Uji Makanan dan Minuman SNI 01-2891-1992. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta: 9-11 hlm.
- BSN. 1998. Cara Uji Minyak dan Lemak SNI 01-3555-1998. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta: 5-8 hlm.
- BSN. 2015. Biodiesel SNI 7182:2015. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta: 14-23 hlm.
- Canakci, M., and Sanli, H. 2008. Biodiesel production from various feed stocks and their effects on the fuel properties. *J Ind Microbiol Biotechnol*. 35:431–441 pp.
- Chanrai, N. G., and Burge, S. G. 2004. *Recovery of Oil from Spent Bleaching Earth*. US Patent. 1(6) : 321-780 pp.
- Christabella, S. 2021. Pengaruh Rasio Metanol/SBE dan Konsentrasi Katalis NaOH terhadap Pembuatan Biodiesel dari Spent Bleaching Earth (SBE) Secara Transesterifikasi In Situ. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 89 hlm.

- Daramolla, M. O., Mtshali K., Senokoane L., and Feyemiwo, O. M. 2015. Influence of Operating Variables on The Transesterification of Waste Cooking Oil to Biodiesel Over Sodium Silicate Catalyst : A Statistical Approach. *Jurnal of Taiban University for Science*. 10 pp.
- Dharmawan, dan Arya, H. 2018. Pengembangan bioenergi di Indonesia: Peluang dan tantangan kebijakan industri biodiesel. *CIFOR*. 2(3):21-29 hlm.
- Devita, L. 2015. Biodiesel Sebagai Bioenergi Alternatif dan Prospektif. *Agrica Ekstensia*. 9(2): 23-26 hlm.
- Dharsono, W dan Oktari, Y. S. 2010. Proses pembuatan biodiesel dari dedak dan metanol dengan esterifikasi in-situ (Process of biodiesel production from oil rice bran and methanol by in situ esterification). Thesis. Universitas Diponegoro. Semarang. 55 hlm.
- Dirjenbun (Direktorat Jenderal Perkebunan). 2019. *Statistika Pekebuan Indonesia: Kelapa Sawit 2018-2020*. Sekretariat Dirjenbun Kementerian Pertanian. Jakarta. 82 hlm.
- Efendi, R., Nur F. H. A., dan firdaus E. R. 2018. Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah Menggunakan Metode Esterifikasi -Transesterifikasi Berdasarkan Jumlah Pemakaian Minyak Jelantah. *Industrial Research Workshop and National Seminar*. Vol. 9(1):24-37 hlm.
- Esonye, C., Onukwuli O. D., and Ofoefule, A. U. 2018. Optimization of Methyl Ester Production from Prunus Amygdalus Seed Oil Using Response Surface Methodology and Artificial Neural Networks. *Renewable Energy Journal*. DOI: 10.1016/j.renene.2018.06.036. 2-9 pp.
- Erziza, W. N., Amri I., dan Yenie, E. 2015. Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku CPO (Crude Palm Oil) dengan Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Kolom Sentrifugal Kontaktor. *Journal FTEKNIK*. 2(1):1-7 hlm.
- Evera, T., Rajendran, K., and Saradha, S. 2009. Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions. *Renew Energy Journal*. 34:762– 775 pp.
- Fajrin, I. 2011. Evaluasi Analisis Alat Pemisahan Kontinyu Biodiesel-Air. Skripsi. Universitas Indonesia. Jakarta. 68 hlm.
- Fajrudin, A., Supartono, dan Woro, S. 2016. Pengaruh Konsentrasi Asam Nitrat dan Temperatur Kalsinasi Reaktivasi Spent Bleaching Earth. *Indoesian Journal Chemical Science*. 5(3) : 202-205 hlm.
- Fadhilah, R. I. 2021. Pengembangan Metode Ekstraksi Fitonutrien *Crude Palm Oil* (CPO) Ramah Lingkungan Untuk Industri Pangan Dan Farmasi. *Warta PPKS*. Vol. 26(3): 132-141 hlm.

- Fatmawati, D., Shakti, P. D., dan Buchori, L. 2013. Reaksi Metanolisis Limbah Minyak Ikan Menjadi Metil Ester Sebagai Bahan Bakar Biodiesel Dengan Menggunakan Katalis Naoh. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 68 – 75 hlm.
- Fikri, M. E., dan Kusumadewi, R. 2005. Regenerasi Bentonit Bekas Secara Kimia Fisika Dengan Aktifator Asam Klorida Dan Pemanasan Pada Proses Pemucatan CPO. *Jurnal Universitas Lampung*. 4(2): 16-17 hlm.
- Freedman, B., Pryde, E. H., Mounts, and Lauren, T. L. 1984. Variable Affecting The Yields of Fatty Ester from Esterification Vegetable Oils. *J Am Oil Chem Soc*. 61: 1638-1642 pp.
- GAPKI. 2022. Siaran Pers : Kinerja Industri Sawit 2021 dan Prospek 2022. Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI). <https://gapki.id/news/20519/kinerja-industri-sawit-2021-prospek-2022> Diakses pada 28 Febuari 2022.
- Hadrah, Kasman, M., dan Sari, F. M. 2018. Analisis Minyak Jelantah Sebagai Bahan Bakar Biodiesel dengan Proses Transesterifikasi. *Jurnal Daur Lingkungan*. Vol. 1 (1): 16-21. ISSN 2615-1626.
- Hastuti, D. W., Prasetyo, H. D., dan Rosyadi, E. 2015. Pemanfaatan CPO Asam Lemak Bebas Tinggi Sebagai Bahan Bakar. *Jurnal Energi dan Lingkungan*. 11(1) : 6-61 hlm.
- Kartika, I. A., Yani, M., and Hermawan, D., 2011. In Situ Transesterification of Jatropha Seeds: Effect of Reactant Type, Stirring Speed and Reaction Temperature on Yield and Quality of Biodiesel. *Journal of Agroindustrial Technology*. 21 (1) : 24 – 33 pp.
- Kementrian ESDM. 2005. Bentonit. *Artikel*. <http://tekmira.esdm.go.id/data/bentonit/ulasan.asp?xdr=Bentonit%commId=88&com=Bentonit>. Diakses pada 28 Januari 2022.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2020. Peraturan Menteri LHK No. 10 Tahun 2020, Alternatif Solusi KLHK Untuk Pengelolaan Limbah B3 Spent Bleaching Earth. https://www.ppil.menlhk.go.id/siaran_pers/browse/2535 Diakses pada 28 Januari 2022.
- Ketaren, S. 2008. *Minyak dan Lemak Pangan*. UI-Press. Jakarta : 17-27 hlm.
- Ketta, M. C., and John, J. 1988. *Chemical Processing*. Marcell Dekker. New York. 239 pp.
- Kheang, L. S., Cheng, S. F., Choo, Y. M., and Ma, A. N. 2006. Malaysian Palm Oil Board. A Study of Residual Oils Recovery from Spent Bleaching Earth :

- Their Characteristics and Applications. *American Journal of Applied Science*. 3(10): 2063-2067 pp.
- Klopfenstein, W. E. 1982. Estimation of cetane index for esters of fatty acids. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 59 (12) : 531 – 533 pp.
- Knothe, G., Gerpen, J. V., and Krahl, J. 2006. *The Biodiesel*. United States of America: AOCS Press. 89 pp.
- Knothe, G. 2005. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*. Vol.86(10):1059–1070 pp.
- Krisnangkura, K. 1986. A Simple Method for Estimation of Cetane Index of Vegetable Oil Methyl Esters. *Journal of computational science*. 63(4):552-553 pp.
- Krisyanti, S., dan Sukandar. 2011. Recovery Minyak Dari Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3) Spent Bleaching Earth Dengan Metode Ekstraksi Pelarut. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 17(1): 35–46 hlm.
- Kurniasih, E. 2012. Produksi Biodiesel dari Crude Palm Oil Melalui Reaksi Dua Tahap. *Jurnal Politeknik Negeri Lhokseumawe*. 70-76 hlm.
- Kusuma, W. A. Y. A. 2012. Bentonit Pacitan Sebagai Adsorben untuk Dekolorisasi CPO. Skripsi. Universitas Airlangga. Surabaya. 82 hlm.
- Kusumaningtyas, N. W. 2011. Proses Esterifikasi Transesterifikasi in situ Minyak Sawit Dalam Tanah Pemucat Bekas Untuk Proses Produksi Biodiesel. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 102 hlm.
- Leung, D. Y. C., and Guo, Y. 2006. Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production Fuel Proces Tecnology. *Renewable Bioenergy Journal*. 2(6):883-890 pp.
- Lobo, I. P., Ferreira, S. L. C., and Cruz, R. S. 2009. *Biodiesel: Quality parameters and analytical methods*. Química Nova. 32 (6) : 1596 – 1608.
- Lu, H. F. S., and Tan, P. P. 2009. A Comparative study of storage stability in virgin coconut oil and extra virgin Olive oil upon thermal treatment. *Int. Food Res. J*. 16 : 343 – 354.
- Ma, F., Clements, L. D., and Hanna, M. A. 1998. The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow. *Trans Am Soc Agric Eng. Journal*. 4(1):4-1261 pp.
- Marella, T. K., Datta, A., Patil, M. D., Dixit, S. and Tiwari, A. 2019. Biodiesel Production Through Algal Cultivation In Urban Wastewater Using Algal Floway. *Bioresour Technol Journal*. 280 : 222–228.

- Mardawanti, E., Singgih, H. M., Maulida, R. D., dan Rosalinda, S. 2019. Produksi Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Kasar Off Grade Dengan Variasi Pengaruh Asam Sulfat Pada Proses Esterifikasi Terhadap Mutu Biodiesel Yang Dihasilkan. *Jurnal Industri Pertanian*. Vol.1(3):46-60
- Mittelbach, M., dan Remschmidt, C. 2004. *Biodiesel The Comprehensive Handbook*. Martin Mittelbach Publioshers. Austria. 331 pp.
- Muchtar, H., dan Diza, Y. H. 2011. Pengaruh Penambahan Crude Stearin Minyak Kelapa Sawit Terhadap Kestabilan Dark Chocolate. *Jurnal Litbang Industri*. 1(1) 1-7 pp.
- Naufal, F. M., dan Sri, R. S. 2016. Pengaruh Suhu pada Esterifikasi Amil Alkohol dengan Asam Asetat Menggunakan Asam Sulfat sebagai Katalisator. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 10 (2) 64-69 hlm.
- Oladosu, W. A., Manan, Z. A., dan Alwi, S. R. W. 2017. Recovery of vegetable oil from spent bleaching earth: State-of-The-Art and prospect for process intensification. *Chem. Eng. Trans Journal*. 133–138 pp.
- Pamata, dan Natasya. 2008. *Sintesis Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Biji Kemiri Hasil Ekstraksi Melalui Metode Ultrasonokimia*. Departemen Kimia Universitas Indonesia. Depok. 5-14.
- Putri, R. A., Azhari, M., dan Ishak. 2017. Optimasi Proses Pembuatan Biodiesel Biji Jarak Pagar Melalui Proses Ekstraksi Reaktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 16-30 hlm.
- Restu, A. J., Agustina, I. D., Hasanudin, U., Sugiharto, R., Boru, G. S., dan Indraningtyas, L. 2023. *Teknologi Pengelolaan Spent Bleaching Earth. Anugrah Utama Raharja*. Bandar Lampung. ISBN: 978-623-211-351-0. 2-68 hlm.
- Rocha, E. G., Follegatti-Romero, L. A., Duvoisin, J. S., and Aznar, M. 2014. *Liquid Equilibria for Ternary Systems Containing Ethylic Palm Oil Biodiesel Ethanol, Glycerol, and Water in Thermodynamic Modeling Fuel*. Jhonson Inc. 128 : 356 – 365pp.
- Rubianto, L., Yuwono, S. S., Atikah, Soemarno. 2013. Comparison of Biodiesel and Petrodiesel Particulate Emission. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*.5 (2):66-69
- Safitri, L. N. 2021. Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Pada Proses Transesterifikasi In-Situ Terhadap Produk Biodiese Dari Spent Bleaching Earth (SBE). Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 90 hlm.

- Sedghamiz, M. A., Raeissi, S., Attar, F., Salimi, M., and Mehrabi, K. 2019. In-Situ Transesterification of Residual Vegetable Oil In Spent Bleaching Clay with Alkali Catalysts Using CCD-RSM Design Of Experiment. *Biofuel Journal*. 237 : 515-521 pp.
- Sharma, A., Kodgire, P., Kachhwaha, S. S., Raghavendra, H. B., and Thakkar, K. 2018. Application of Microwave Energy for Biodiesel Production using Waste Cooking Oil. *Biofuel Journal*. 5(4) : 23064 – 23075 pp.
- Sinaga, S. V., Haryanto, A., dan Triyono, S. 2014. Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 3(1): 27-34 hlm.
- Solikhah, D. W., Barus, B. R., Karuana F., Wimada A. R., dan Amri K. 2020. *Pedoman Penanganan Dan Penyimpanan Biodiesel Dan Campuran Biodiesel (B30)*. DIREKTORAT BIOENERGI. Jakarta. 3-6 hlm.
- Sudradjat, R., Sahirman, dan Setiawan, D. 2007. Pembuatan biodiesel dari biji nyamplung. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 25(1): 41-56
- Sulastri. 2011. Uji Sifat Fisiko-Kimia dan Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Mahoni (*Swietenia mahogani* (L.) Jacq.). Tesis. Universitas Indonesia. Depok. 131 hlm.
- Suryani, A., Pari, G., dan Aswad, A. 2015. Proses Reaktivasi Tanah Pemucat Bekas Sebagai Adsorben Untuk Pemurnian Minyak Sawit Kasar Dan Biodiesel. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 25(1): 52-67 hlm.
- Talpur, Y. M., Sherazi, S. T. H., Mahesar, S. A., and Kandhro A. A. 2009. Effect of Chicken Frying on Soybean, Sunflower and Canola Oils. *Journal Anal. Environ. Chem*. 10 (1) and (2) : 59 – 66 pp.
- Tirtadmaja, C. D. 2019. Proses Pemucatan Crude Palm Oil (CPO) dengan Reactivated Bleaching Earth (RBE). Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 60 hlm.
- Tsai, W. T., Chen, H. P., Hsieh, M. F., Sun, H. F., and Chien, S. F. 2002. Regeneration of Spent Bleaching Earth by Pyrolysis in a Rotary Furnace. *Journal Analy and Apply Pyrolysis*. 63(1):157–170 pp.
- Wahyuni, S., Hambali, E., dan Marbun, B. T. H. 2016. Esterifikasi gliserol dan asam lemak jenuh sawit dengan katalis MESA. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 26(3):36-43 hlm.
- Yudha, R. F., Setiawan, A., dan Mayangsari, N. E. 2018. Identifikasi Komponen FAME pada Biodiesel yang Disintesis dari Minyak Goreng Bekas. *Conference Proceeding on Waste Technology*. 91-95 hlm.

- Yunsari, A., Husaini, and Rusdianasari. 2019. Effect of Variation of Catalyst Concentration in the Producing of Biodiesel from Crude Palm Oil using Induction Heater. *Asian Journal of Applied Research and Community Development and Empowerment*. 3 (1) : 24 – 27 pp.
- Yusnimar, Zahrina, I., dan Heltina, D. 2012. *Laporan Hibah Kompetitif Penelitian Strategis Nasional : Sumber Bahan Bakar Alternatif Dari Spent Bleaching Earth Asal Industri Refinery Minyak Sawit*. Universitas Riau. Pekanbaru. 57 hlm.