

TESIS
PRODUKSI BIODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS
BERBASIS K_2CO_3 DAN ABU TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT



YOSIRHAM ABDU SALAM
03012681923001

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023

TESIS
PRODUKSI BIODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS
BERBASIS K_2CO_3 DAN ABU TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



YOSIRHAM ABDU SALAM
03012681923001

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023

HALAMAN PENGESAHAN

PRODUKSI BIODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS
BERBASIS K_2CO_3 DAN ABU TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT

TESIS

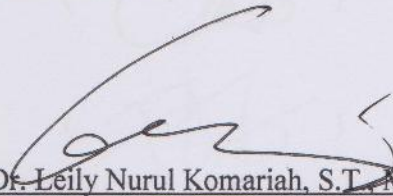
Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelara Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Palembang, Juli 2023
Menyetujui,
Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA
NIP. 19601011 198503 2002


Pembimbing II



Dr. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.
NIP. 19750326 199903 2002


Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 19670615 199512 1002

Ketua Jurusan Teknik Kimia,



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 19750201 200012 2001

HALAMAN PERSETUJUAN

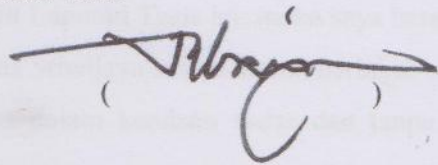
Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul Produksi “Biodiesel Menggunakan Katalis Berbasis K_2CO_3 Dan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 25 Juli 2023.

Palembang, 25 Juli 2023

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua :

1. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D
NIP. 19600909 198703 1004

()

Anggota :

1. Dr. David Bahrin, S.T., M.T.
NIP. 19801031 200501 1003
2. Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T.
NIP. 19780822 200212 2001

()

()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,



Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M. T.
NIP. 19670615 199512 1002



Ketua Jurusan Teknik Kimia,

Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 19750101 200012 2001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yosirham Abdu Salam
NIM : 03012681923001
Judul : Produksi Biodiesel Menggunakan Katalis Berbasis K_2CO_3
dan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit

Menyatakan bahwa Laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Juli 2023
Yang Membuat Pernyataan,



Yosirham Abdu Salam
NIM. 03012681923001

RINGKASAN

PRODUKSI BIODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS BERBASIS K_2CO_3 DAN ABU TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 25 Juli 2023

Yosirham Abdu Salam, dibimbing oleh Prof. Dr. Hj. Susila Arita, DEA dan Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.

Biodiesel Production Using K_2CO_3 -Based Catalyst and Palm Oil Empty Fruit Bunch Ash

xvi + 71 Halaman, 20 Tabel, 18 Gambar, 2 Lampiran

RINGKASAN

Biodiesel menunjukkan potensi besar sebagai sumber energi alternatif, terutama di Indonesia, dan RBDPO (*Refined Bleached Deodorized Palm Oil*) sebagai turunan minyak sawit sangat populer digunakan sebagai bahan baku dalam produksi biodiesel karena ketersediaan yang melimpah, komposisi kimia yang sesuai, dan sifat fisik yang mendukung untuk proses transesterifikasi. K_2CO_3 sering dipilih sebagai salah satu katalis basa yang umum digunakan dalam produksi biodiesel karena tingginya kandungan kalium dalam oksida, yang berkontribusi pada sifat katalitiknya yang efektif. Abu tandan kosong kelapa sawit (ATKKS), sebagai salah satu limbah dari boiler pabrik kelapa sawit, ternyata juga memiliki kandungan kalium dalam oksida yang dominan. Hal ini menunjukkan potensi ATKKS untuk digunakan bersama dengan K_2CO_3 sebagai katalis dalam proses transesterifikasi biodiesel. Dalam penelitian ini, proses transesterifikasi RBDPO menjadi biodiesel dilakukan secara *batch* pada suhu reaksi $65^\circ C$, kecepatan pengadukan 450 RPM, metanol 30 %-berat, dan katalis K_2CO_3 sebanyak 2 %-berat. Variabel bebas pada penelitian ini, diantaranya adalah waktu reaksi (60, 120, 180, dan 240 menit) dan jumlah penambahan ATKKS pada katalis K_2CO_3 (0,1, dan 2 %-berat). Produk biodiesel kemudian diukur %yield nya dan dianalisis sifat fisik kimianya, meliputi densitas, angka asam, total gliserol, dan kadar metil ester. Dari hasil penelitian diketahui bahwa konversi reaksi dan yield tertinggi (ditunjukkan oleh total gliserol $< 0.24\%$ dan yield sebesar 95,81%) diperoleh pada waktu reaksi lebih dari 3 jam (180 menit). Semakin lama waktu reaksi transesterifikasi kadar metil ester semakin meningkat. Kadar tertinggi mencapai 99,01% diperoleh pada waktu reaksi 4 jam (240 menit). Kemudian penambahan katalis ATKKS pada katalis K_2CO_3 dalam proses transesterifikasi RBDPO terbukti meningkatkan kualitas biodiesel yang dihasilkan. Penambahan ATKKS dengan kadar 1 %-berat pada 2 %-berat katalis K_2CO_3 menghasilkan kualitas biodiesel yang paling baik di seluruh variasi waktu reaksi (60, 120, 180, dan 240 menit).

Kata Kunci: RBDPO; biodiesel; katalis; K_2CO_3 ; ATKKS; waktu reaksi.

Kepustakaan: 74 (1982-2023)

SUMMARY

BIODIESEL PRODUCTION USING K_2CO_3 -BASED CATALYST AND PALM OIL EMPTY FRUIT BUNCH ASH

Scientific paper in the form of Thesis, 25th July 2023

Yosirham Abdu Salam, supervised by Prof. Dr. Hj. Susila Arita, DEA and Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.

Produksi Biodiesel Menggunakan Katalis Berbasis K_2CO_3 dan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit

xvi + 71 Pages, 20 Tables, 18 Pictures, 2 Appendices

SUMMARY

Biodiesel shows great potential as an alternative energy source, especially in Indonesia, and RBDPO (Refined Bleached Deodorized Palm Oil) as a derivative of palm oil is widely used as a raw material in biodiesel production due to its abundant availability, suitable chemical composition, and favorable physical properties for transesterification processes. K_2CO_3 is commonly chosen as one of the common base catalysts used in biodiesel production due to its high content of potassium oxide, which contributes to its effective catalytic properties. Empty fruit bunch ash (EFB ash), as one of the waste products from palm oil mill boilers, is also found to have a dominant content of potassium oxide. This indicates the potential of EFB ash to be used together with K_2CO_3 as a catalyst in the biodiesel transesterification process. In this study, the transesterification process of RBDPO into biodiesel was carried out batch-wise at a reaction temperature of 65°C, stirring speed of 450 RPM, 30% (by weight) methanol, and 2% (by weight) K_2CO_3 catalyst. The independent variables in this study included the reaction time (60, 120, 180, and 240 minutes) and the addition of EFB ash to the K_2CO_3 catalyst (0%, 1%, and 2% by weight). The biodiesel products were then measured for their %yield and analyzed for their physical and chemical properties, including density, acid value, total glycerol, and methyl ester content. The results of the study revealed that the highest reaction conversion and yield (indicated by total glycerol < 0.24% and a yield of 95.81%) were obtained at a reaction time of more than 3 hours (180 minutes). As the transesterification reaction time increased, the methyl ester content also increased, with the highest content of 99.01% achieved at a reaction time of 4 hours (240 minutes). Furthermore, the addition of EFB ash to the K_2CO_3 catalyst in the transesterification process of RBDPO proved to improve the quality of the biodiesel produced. Adding 1% by weight of EFB ash to 2% by weight of K_2CO_3 catalyst resulted in the best biodiesel quality across all variations of reaction time (60, 120, 180, and 240 minutes).

Keywords: RBDPO; biodiesel; catalyst; K_2CO_3 ; EFB ash; reaction time.

Citations: 74 (1982-2023)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa berkat Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga Laporan Tesis dengan judul “Produksi Biodiesel Menggunakan Katalis Berbasis K_2CO_3 dan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit” dapat diselesaikan dengan baik. Laporan Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Studi Teknik Kimia BKU Teknologi Energi Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Laporan Tesis ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih diberikan penulis kepada

1. Orang tua tercinta yang telah memberikan doa, semangat, dan motivasi yang melimpah.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA., selaku dosen pembimbing tesis ke-1.
3. Ibu Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tesis ke-2.
4. Bapak Dr. David Bahrin, S.T., M.T., selaku koordinator prodi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
5. Kepala Lab dan Analis Laboratorium Rekayasa Energi dan Teknologi Pengolahan Limbah Universitas Sriwijaya Inderalaya.
6. Teman-teman seperjuangan Magister Teknik Kimia 2019 serta semua pihak yang selalu memberikan dukungan dan semangat yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata diharapkan kritik dan saran yang bersifat ilmiah dan membangun agar Laporan Tesis ini dapat lebih bermanfaat sebagaimana mestinya.

Palembang, 28 Juli 2023



Yosirham Abdu Salam

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Hipotesa	3
1.5. Ruang Lingkup	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Biodiesel	6
2.1.1. <i>Free Fatty Acid</i> (FFA).....	8
2.1.2. Proses Transesterifikasi.....	8
2.1.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Biodiesel.....	10
2.2. Minyak Kelapa Sawit (<i>Palm Oil</i>)	12
2.2.1. Minyak RBDPO.....	13
2.3. Alkohol	14

2.3.1. Metanol.....	15
2.4. Katalis	16
2.4.1. Kalium Karbonat (K_2CO_3).....	19
2.4.2. Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS)	19
2.5. Standar Mutu dan Spesifikasi Biodiesel.....	21
2.5.1. Densitas	21
2.5.2. Viskositas.....	21
2.5.3. Bilangan Asam	22
2.5.4. Gliserol Total.....	23
2.5.5. Kadar Alkil Ester.....	23
2.6. Penelitian-Penelitian Terdahulu.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian.....	26
3.2.1 Bahan Penelitian	26
3.2.2 Peralatan Penelitian	27
3.2.3 Rangkaian Alat	27
3.3 Rancangan Penelitian.....	28
3.3.1 Variabel Penelitian.....	28
3.3.2 Prosedur Penelitian	29
3.3.2.1 Preparasi Katalis K_2CO_3 dan ATKKS	29
3.3.2.1.1 Preparasi Katalis K_2CO_3	29
3.3.2.1.2 Preparasi Katalis ATKKS.....	29
3.3.2.2 Proses Transesterifikasi.....	29
3.3.2.3 Pengujian Densitas Biodiesel.....	31
3.3.2.4 Pengujian Angka Asam Biodiesel.....	31
3.3.2.5 Pengujian Total Gliserol	32
3.3.3 Diagram Alir Penelitian	33
3.4 Metode Pengolahan dan Analisis Data	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Karakteristik K_2CO_3 dan Abu TKKS serta potensinya sebagai katalis pada pembuatan biodiesel	36

4.2 Unjuk Kinerja K_2CO_3 sebagai katalis transesterifikasi minyak sawit (pengaruh waktu reaksi)	39
4.2.1 Pengaruh waktu reaksi terhadap produktivitas biodiesel (yield)	39
4.2.2 Pengaruh waktu reaksi terhadap mutu biodiesel.....	41
4.3 Persamaan Kinetika Reaksi Transesterifikasi RBDPO menjadi biodiesel menggunakan katalis K_2CO_3	47
4.4 Pengaruh penambahan Abu TKKS pada katalis K_2CO_3 dalam reaksi pembuatan biodiesel	51
4.4.1 Penggunaan katalis Abu TKKS sebagai katalis tranesterifikasi	51
4.4.2 Penggunaan katalis campuran K_2CO_3 dengan Abu TKKS.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran dan Rekomendasi.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58
DAFTAR LAMPIRAN.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Data Penelitian.....	67
Lampiran B Gambar Penelitian.....	70

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perbandingan Sifat Fisik/Kimia Biodiesel dan Minyak Solar	7
Tabel 2.2 Perbandingan Emisi Pembakaran Biodiesel dan Solar	7
Tabel 2.3 Komposisi FFA Dari Berbagai Minyak yang Dapat Dihasilkan dari Minyak Sawit	12
Tabel 2.4 Syarat Mutu RBDPO	13
Tabel 2.5 Komposisi Asam Lemak RBDPO.....	14
Tabel 2.6 Komposisi Trigliserida RBDPO	14
Tabel 2.7 Sifat Fisik dan Kimia Alkohol	15
Tabel 2.8 Sifat Fisik dan Kimia Metanol	16
Tabel 2.9 Sifat Fisik Kalium Karbonat	19
Tabel 2.10 Standar dan Spesifikasi Biodiesel di Indonesia	24
Tabel 2.11 Hasil Penelitian-Penelitian Terdahulu	25
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Katalis K_2CO_3	38
Tabel 4.2 Komposisi Kimia Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	38
Tabel 4.3 Data hasil pengukuran dan % yield biodiesel menggunakan K_2CO_3 sebagai katalis	40
Tabel 4.4 Data untuk Membuat Grafik Penentuan Orde Reaksi Satu dan Dua	49
Tabel A.1 Data Biodiesel dan % yield Hasil Penelitian.....	67
Tabel A.2 Hasil Analisa Sifat Fisik Kimia Produk Biodiesel.....	67
Tabel A.3 Komposisi Asam Lemak Pada Minyak Sawit.....	68
Tabel A.4 Berat Molekul Komponen.....	68
Tabel A.5 Data Untuk Penentuan Orde Reaksi	69

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.5	Reaksi Pembentukan FAME 8
Gambar 3.1	Rangkaian Alat Transesterifikasi Biodiesel dari Minyak RBDPO 28
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian 34
Gambar 4.1	(a) K_2CO_3 teknis (<i>google.com</i>) (b) ATKKS yang digunakan dalam penelitian ini..... 37
Gambar 4.2	Pengaruh waktu reaksi terhadap kandungan gliserol total dalam biodiesel dengan katalis K_2CO_3 41
Gambar 4.3	Pengaruh waktu reaksi terhadap Angka Asam dalam biodiesel dengan katalis K_2CO_3 43
Gambar 4.4	Pengaruh waktu reaksi terhadap Densitas dalam biodiesel dengan katalis K_2CO_3 44
Gambar 4.5	Pengaruh Waktu Reaksi terhadap kandungan Metil Ester dalam Biodiesel dengan Katalis K_2CO_3 45
Gambar 4.6	Hubungan Waktu Reaksi dengan Ln ME Untuk Persamaan Orde Satu 49
Gambar 4.7	Hubungan Waktu Reaksi dengan $1/CA$ Untuk Persamaan Orde Dua..... 50
Gambar 4.8	Pengaruh Penambahan TKKS dalam Katalis K_2CO_3 terhadap Kandungan Total Gliserol dalam Biodiesel 52
Gambar 4.9	Pengaruh Penambahan ATKKS dalam Katalis K_2CO_3 terhadap Angka Asam dalam Biodiesel 53
Gambar 4.10	Pengaruh Penambahan ATKKS dalam Katalis K_2CO_3 terhadap Densitas dalam Biodiesel..... 54
Gambar 4.11	Pengaruh Penambahan abu TKKS dalam Katalis K_2CO_3 Terhadap Kandungan Metil Ester dalam Biodiesel 54
Gambar B.1	(a) proses transesterifikasi dengan katalis K_2CO_3 tanpa ATKKS (b) proses transesterifikasi dengan katalis K_2CO_3 dengan ATKKS..... 70
Gambar B.2	(a) Pemisahan biodiesel-gliserol dengan K_2CO_3 tanpa ATKKS (b) Pemisahan biodiesel-gliserol dengan K_2CO_3 dengan ATKKS 70

Gambar B.3	(a) proses pencucian biodiesel	
	(b) proses evaporasi biodiesel	71
Gambar B.4	(a) produk biodiesel yang telah dicuci dan dievaporasi	
	(b) gliserol	71

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

ATKKS	Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit <i>Empty fruit bunch ash (EFB ash)</i>
XRF	<i>X-ray Fluorence</i> Fluoresensi Sinar-X
RBDPO	<i>Refined, Bleached, Deodorized Palm Oil</i> Minyak Kelapa Sawit yang Dimurnikan, Dibubuhi Pemutih, dan Dideodorisasi
ME	Kadar Metil Ester (%)
TG	Total Gliserol (%)
AA	Angka Asam (mgKOH/g)
FFA	<i>Free Fatty Acid</i> Asam Lemak Bebas
FAME	<i>Fatty Acid Methyl Ester</i> Metil Ester Asam Lemak
RPM	<i>Revolutions Per Minute</i> Putaran per Menit
SNI	Standar Nasional Indonesia
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>

DAFTAR SIMBOL

t	<i>Waktu</i>	detik (s)
m	<i>Massa</i>	gram (gr) atau kilogram (kg)
V	<i>Volume</i>	liter (L)
ρ	<i>Densitas</i>	kg/L
r_A	<i>Kecepatan reaksi produksi biodiesel</i>	
k	<i>Konstanta laju reaksi spesifik</i>	
C_{A0}	<i>Konsentrasi awal mol reaktan (A)</i>	
C_A	<i>Konsentrasi mol reaktan (A) pada waktu tertentu</i>	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif paling menjanjikan yang dapat menggantikan peran diesel konvensional. Di Indonesia, pemerintah telah memandatkan pencampuran 30-35% biodiesel pada bahan bakar minyak (BBM) jenis solar. Asosiasi Produsen Biofuel Indonesia (Aprobi) menyebutkan bahwa kapasitas pabrik biodiesel RI hingga kini tercatat mencapai 17,5 juta kilo liter (kL). Kementerian ESDM menetapkan alokasi Biodiesel tahun 2023 dengan kapasitas terpasang sebesar 16.653.821 kL (SIARAN PERS KemenESDM Nomor: 528.Pers/04/SJI/2022).

Secara umum Biodiesel di Indonesia diproduksi dari minyak sawit dan turunannya. Pabrik-pabrik biodiesel umumnya menggunakan *Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO)* sebagai bahan baku karena komoditi ini termasuk turunan minyak sawit yang mengandung kadar asam lemak bebas yang paling rendah. RBDPO merupakan hasil dari proses penyulingan untuk penjernihan bau dari minyak kelapa sawit mentah (CPO) yang kemudian diuraikan menjadi minyak sawit padat (RBD Stearin) dan minyak sawit cair (RBD Olein) (Erlangga, 2016).

Teknologi produksi biodiesel yang paling umum digunakan dari bahan baku minyak sawit khususnya RBDPO adalah reaksi transesterifikasi. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Busyairi dkk. (2020), disebutkan bahwa reaksi transesterifikasi memiliki keunggulan dalam menghasilkan biodiesel berkualitas lebih baik daripada reaksi esterifikasi. Hal ini disebabkan oleh terjadinya pertukaran asam lemak dan pembentukan ester baru dalam reaksi tersebut, yang mirip dengan reaksi alkoholisis. Dalam prosesnya reaksi transesterifikasi sangat membutuhkan katalis untuk mempercepat terjadinya reaksi. Katalis basa memiliki keunggulan dibandingkan dengan katalis asam dalam proses transesterifikasi karena kecepatan reaksi yang lebih tinggi dan suhu proses yang lebih rendah.

Namun, penggunaan katalis basa homogen memiliki beberapa kekurangan. Apabila bahan baku yang digunakan memiliki kandungan asam lemak bebas yang tinggi, akan terjadi reaksi saponifikasi. Penggunaan katalis dalam produksi sabun dapat menghabiskan katalis, mengurangi yield biodiesel, serta dapat menghambat pemisahan biodiesel dari gliserol dalam proses tersebut. Selain itu, katalis homogen basa akan mempersulit proses pembersihan setelah reaksi dan menghasilkan lebih banyak air limbah dari proses pencucian produk untuk menghilangkan katalis yang masih tersisa. Berdasarkan fakta tersebut, penggunaan katalis basa heterogen saat ini sedang mengalami perkembangan pesat karena memiliki berbagai keunggulan, seperti tidak beracun, tidak korosif, ramah lingkungan, mudah dipisahkan, dan dapat diregenerasi untuk digunakan ulang (Rodiah dkk., 2020; Munoz dkk., 2020).

K_2CO_3 termasuk salah satu katalis basa heterogen, yang dinilai berpotensi efektif dan memiliki kekuatan dasar yang cukup untuk mengkatalisasi reaksi transesterifikasi asam lemak gliserida dengan alkohol (Liu dkk., 2011). Selain K_2CO_3 , katalis basa heterogen juga bisa didapatkan dari Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS). Pada umumnya diketahui bahwa proses pengolahan kelapa sawit menghasilkan tidak hanya CPO (*Crude Palm Oil* atau minyak kelapa sawit mentah) tetapi juga produk samping dan limbah. Salah satu produk samping ini adalah tandan kosong kelapa sawit, yang beratnya berkisar antara 230 dan 250 kilogram per ton. Tandan kosong kelapa sawit seringkali dimanfaatkan sebagai substrat pertumbuhan jamur, sebagai sumber bahan bakar untuk boiler, dan kemudian dibakar untuk menghasilkan abu (Sibarani dkk., 2007). Abu yang dihasilkan dari pembakaran tandan kelapa sawit memiliki kadar kalium yang tinggi (45 hingga 50% sebagai K_2O) sehingga dapat digunakan sebagai katalis basa dalam proses transesterifikasi (Kittikun, dalam Mulia, 2007). Sebelumnya, dilaporkan dalam Sibarani dkk. (2007), Ruchiyat (2018), dan Sarandon dkk. (2019), ATKKS digunakan sebagai katalis basa dalam produksi biodiesel. Dalam penelitian ini akan dilakukan unjuk kinerja K_2CO_3 mutu industri tanpa campuran sebagai katalis pada pembuatan biodiesel. Selain itu akan diuji pula efektivitas campuran K_2CO_3 dan Abu TKKS pada variasi waktu reaksi. Persamaan kinetika reaksi transesterifikasi dengan katalis K_2CO_3 juga dikembangkan dalam penelitian

ini dengan harapan dapat memperbesar peluang pengembangan katalis-katalis baru yang efektif dalam mendukung produksi biodiesel.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana karakteristik K_2CO_3 dan Abu TKKS serta potensinya sebagai katalis transesterifikasi RBDPO untuk pembuatan biodiesel?
- b. Bagaimana kinerja K_2CO_3 sebagai katalis transesterifikasi pada pembuatan biodiesel?
- c. Bagaimana persamaan kinetika reaksi transesterifikasi RBDPO dengan katalis K_2CO_3 ?
- d. Bagaimana pengaruh penambahan abu tandan kosong kelapa sawit (ATKKS) sebagai campuran dari katalis K_2CO_3 terhadap karakteristik biodiesel?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

- a. Mengidentifikasi dan menganalisis komposisi elemen pada K_2CO_3 dan ATKKS sebagai katalis transesterifikasi RBDPO.
- b. Mengetahui efek penggunaan K_2CO_3 sebagai katalis pada pembuatan biodiesel melalui transesterifikasi RBDPO (variasi waktu reaksi).
- c. Menurunkan persamaan kinetika reaksi dengan mendapatkan orde reaksi, konstanta laju reaksi (k), dan kecepatan reaksi transesterifikasi RBDPO menjadi biodiesel.
- d. Mengevaluasi pengaruh penambahan ATKKS pada katalis K_2CO_3 terhadap sifat fisik kimia biodiesel.

1.4 Hipotesis

Adapun hipotesa dari penelitian ini adalah:

- a. K_2CO_3 memiliki kadar kalium dalam bentuk oksida yang tinggi sebagai komponen aktif dalam mengkatalisis.

- b. Semakin lama waktu reaksi maka (kadar metil ester/yield) biodiesel yang diperoleh akan semakin tinggi dan karakteristik biodiesel berpotensi memenuhi standar mutu (Busyairi dkk., 2020 dan Sinaga dkk., 2014).
- c. Penambahan Abu TKKS berkontribusi pada peningkatan kinerja reaksi transesterifikasi. Konversi biodiesel meningkat seiring dengan peningkatan jumlah abu TKKS yang digunakan dalam transesterifikasi (Yoeswono dkk., 2007)
- d. Semakin besar persentase konversi biodiesel yang dihasilkan pada variasi persentase abu TKKS terhadap minyak maka sifat fisik biodiesel makin mendekati atau sesuai dengan spesifikasi Biodiesel ASTM D 6751 (Imaduddin dkk., 2008).
- e. Persamaan kinetika reaksi transesterifikasi RBDPO menjadi metil ester dengan katalis K_2CO_3 adalah reaksi homogen dengan persamaan reaksi orde dua.

1.5. Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

- a. Penelitian berskala laboratorium dan dilakukan di Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengolahan Limbah Inderalaya, Universitas Sriwijaya.
- b. K_2CO_3 diperoleh dari Smart Lab 99,5%.
- c. *Refined Bleached Palm Oil* (RBDPO) diperoleh dari PT. Sumi Asih di Kabupaten Bekasi, Jawa Barat, dan metanol yang digunakan adalah Merck 99%.
- d. Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS) diperoleh dari hasil pembakaran ATKKS dengan metode pembakaran terbuka.
- e. Reaksi Transesterifikasi dilakukan pada skala laboratorium menggunakan labu leher tiga, pada suhu $65^\circ C$, kecepatan reaksi 450 RPM.
- f. Nisbah metanol yang digunakan adalah 30%-berat dari berat bahan baku minyak RBDPO.

1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan didapat dari penelitian ini adalah:

1) Bagi Masyarakat

Memberikan pengetahuan dan informasi mengenai pemanfaatan campuran ATKKS dan K_2CO_3 sebagai katalis dalam proses transesterifikasi minyak RBDPO menjadi biodiesel.

2) Bagi Institusi Pendidikan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penambahan ilmu pengetahuan, khususnya mengenai biodiesel dan dapat menambah referensi sebagai bahan penelitian lanjutan yang lebih mendalam pada masa yang akan datang.

3) Bagi Pemerintah

Dapat menjadi tambahan informasi dan acuan dalam perumusan kebijakan terkait dengan pemanfaatan ATKKS sebagai salah satu katalis basa dalam proses transesterifikasi biodiesel dari minyak RBDPO.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, R. A. D. P., L. N. Komariah, N. P. Putri, dan S. Arita. 2023. *Potensi dan Karakteristik Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Katalis Heterogen untuk Produksi Biodiesel*. Jurnal Teknik Kimia Vol. 29 No. 1, 2023, 36-45.
- Angelia, D., G. P. W. Permatasari, dan S. Redjeki. 2022. *Kinetika Reaksi Transesterifikasi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis CaO Modifikasi*. Jurnal Teknik Kimia Vol. 16, No. 2, April 2022.
- Amelio, A., Loise, L., Azhandeh, R., Darvishmanesh, S., Calabro, V., Degreve, J., Luis, P., Van der Bruggen, B. 2016. *Purification of biodiesel using a membrane contactor: liquid-liquid extraction*. Fuel Process. Technol. 142, 352-360.
- Aribowo, W., A. Nugroho, dan I. Istiadi. 2019. *Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Kedelai Menjadi Biodiesel Menggunakan Katalis Padat Ramah Lingkungan $K_2O/CaO-ZnO$* . TEKNIK, 40(3), 2019, 136-141.
- Arita, S. 2009, *Proses Pembuatan Biodiesel di dalam Reaktor Unggun Diam (Fixed Bed Reactor) dengan Katalis Padat Alumina Berbasis Logam*, Prosiding Seminar Nasional Daur Bahan Bakar 2009 Serpong, 13 Oktober 2009 ISSN 1693-4687.
- Badan Standar Nasional (BSN). 2015. *SNI 04-7128:2015 SNI Biodiesel*. Badan Standar Nasional. Jakarta.
- Baroi, C., E. K. Yanful, dan M. A. Bergougnou. 2009. *Biodiesel Production from *Jatropha curcas* Oil Using Potassium Carbonate as an Unsupported Catalyst*. International Journal of Chemical Reactor Engineering, Volume 7, Article A72, ISSN 1542-6580.

- Budiman, A., R. D. Kusumaningtyas, dan Y. S. Pradana. 2018. *Biodiesel: Bahan Baku Proses*. Yogyakarta: UGM Press.
- Budi Tanjung Sari, A. 2007. *Proses Pembuatan Biodiesel Minyak Jarak Pagar dengan Transesterifikasi Satu dan Dua Tahap*. Skripsi. Teknologi Pertanian IPB.
- Busyairi, M., A. Z. Muttaqin, I. Meicahyanti, dan Saryadi. 2020. *Potensi Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis Serta Waktu Reaksi Terhadap Kualitas Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi*. Serambi Engineering, Volume V, No. 2, April 2020.
- Chouhan, A. P. S. dan A. K. Sarma. 2011. *Modern Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production: A Comprehensive Review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15:4378-4399.
- Darnoko, D. dan M. Cheryan. 2000. *Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor*. JAOCS. Vol. 77, no. 12.
- Erlangga, T. 2016. *Kinerja Mesin Diesel Berbahan Bakar Solar Dicampur 5% Air dengan FAME dari RBDPO dan ABS Sebagai Emulsifier*. Diploma Thesis, Universitas Andalas: Padang.
- Fauzi, Y. 2005. *Kelapa Sawit, Budi Daya Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisis Usaha dan Pemasaran*. Edisi Revisi. Penebar Swadaya: Jakarta.
- Fessenden, J. R. dan S. J. Fessenden. 1986. *Kimia Organik Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- Firdaus, I. U. 2010. *Usulan Teknis Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah*. Laporan PT. Nawapanca Engineering Bandung.
- Freedman, B., E. H. Pryde, dan T. L. Mounts. 1984. *Variable Affecting the Yield of Fatty Esters from Transesterification Vegetable Oils*. Journal of American Oil Chemist Society. 61:1638-1643.

- Hambali, E., S. Mujdalipah, A.H. Tambunan, A.W. Pattiwiri, dan R. Hendoko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Hanif. 2009. *Analisis Sifat Fisik dan Kimia Minyak Jelantah sebagai Bahan Bakar Alternatif Motor Diesel*. Jurnal Teknik Mesin, Vol. 6(2) Hlm. 92-96.
- Hariska, A., Ririn F. S., dan Fuadi R. 2012. *Pengaruh Metanol dan Katalis pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah secara Esterifikasi dengan Menggunakan Katalis K_2CO_3* . Jurnal Teknik Kimia No. 1 Vol. 18: Universitas Sriwijaya.
- Helwani, Z., M. R. Othman, N. Aziz, J. Kim, dan W. J. N. Fernando. 2009. *Solid Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Triglycerides with Methanol : A Review*. Applied Catalysis A: General. 369: 1-10.
- Hidayati, R., A. H. Allah, dan S. Arita. 2012. *Pengaruh Penambahan H_3PO_4 dan Resin Kation-Anion Terhadap Persen Total Gliserol Hasil Samping Pembuatan Biodiesel*. Jurnal Teknik Kimia No. 4, Vol. 18, Desember 2012.
- Hoekman, S. K., A. Broch, C. Robbins, E. Cenicerros, dan M. Natarajan. 2012. *Review of Biodiesel Composition, Properties, and Specifications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 143-169.
- Husin, H., M. Mahidin, dan M. Marwan. 2011. *Studi Penggunaan Katalis Abu Sabut Kelapa, Abu Tandan Sawit, dan K_2CO_3 Untuk Konversi Minyak Jarak Menjadi Biodiesel*. Reaktor, vol. 13, no. 4, pp. 254-261, Dec 2011. <https://doi.org/10.14710/reaktor.13.4.254-261>.
- Husin, H., T.M. Asnawi, A. Firdaus, H. Husaini, I. Ibrahim, dan F. Hasfita. 2018. *Solid Catalyst Nanoparticles derived from Oil-Palm Empty Fruit Bunches (OP-EFB) as a Renewable Catalyst for Biodiesel Production*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 358 (2018) 012008.

- Imaduddin, M., Yoeswono, K. Wijaya, dan I. Tahir. 2008. *Ekstraksi Kalium dari Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Katalis pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Sawit*. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 3(1-3), 2008, 14-20.
- Ismail, Y. S. 2005. *Mengenal Biodiesel: Karakteristik, Produksi, hingga Performansi Mesin*. Skripsi. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: UI.
- Ketaren, S. 2005. *Pengantar Teknologi: Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: UI-Press.
- Konsomboon, S., Pipatmanomai S., Madhiyanon T., dan Tia S. 2011. *Effect of Kaolin Addition on Ash Characteristics of Palm Empty Fruit Bunch (EFB) Upon Combustion*. Applied Energy, 88, 298-305.
- Li, X. F., Y. Zuo, Y. Zhang, Y. Fu, dan Q. X. Guo. 2013. *In situ preparation of K_2CO_3 as catalyst for biodiesel production*. Applied Catalyst B: Environmental, 106, 550-558.
- Liu, H., L. Su, F. Liu, C. Li, dan U. U. Solomon. 2011. *Cinder supported K_2CO_3 as catalyst for biodiesel production*. Applied Catalyst B: Environmental, Volume 106, Issues 3-4, Pages 550-558.
- Mahmud, S. F. 2019. *Proses Pengolahan CPO Menjadi RBDPO di PT XYZ Dumai*. UNITEK. Vol. 12 No. 1 Januari – Juni 2019, e-ISSN 2580-2585.
- Malins, K. 2018. *The potential of K_3PO_4 , K_2CO_3 , Na_3PO_4 , and Na_2CO_3 as Reusable Alkaline Catalyst for Practical Application in Biodiesel Production*. Fuel Processing Technology. Hal.302-312. Elsevier Ltd.
- Manik, D. J., F. Hamzah, dan F. Restuhadi. 2017. *Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Basa Heterogen Berbahan Dasar Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit*. JOM FAPERTA UR Vol. 4 No. 1 Februari 2017.

- Manique, M.C., L. V. Lacerda, A. K. Alves, dan C.P. Bergmann. 2016. *Biodiesel production using coal fly ash-derived sodalite as a heterogeneous catalyst*. Fuel (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.11.016>.
- Martinez, G., N. Sanchez, J. M. Encinar, J. F. Gonzalez. 2014. *Fuel Properties of Biodiesel From Vegetable Oils and Oil Mixtures. Influence of Methyl Esters Distribution*. Biomass and Bioenergy, 63, 22-32.
- Mathiyazhagan, M. dan Ganapathi A. 2011. *Factor Affecting Biodiesel Production*. Research in Plant Biology. 1, (2), 1-5.
- Mittlebach, M. dan C. Reimschmidt. 2004. *Biodiesel The Comprehensive Handbook*. Boersdruck Ges. M. bH. Vienna.
- Mulia, A. 2007. *Pemanfaatan Tandan Kosong dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Briket Arang*. Thesis. Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara : Medan (Tidak dipublikasikan).
- Munawar, A., Taslim, R. Manurung, dan Iriany. 2020. *Biodiesel Synthesis from refined bleached and deodorized palm oil (RBDPO) by transesterification using durian shell based carbon modified with KOH as heterogeneous catalyst*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 725 (2020) 012963. Doi: 10.1088/1757-899X/725/1/012063.
- Munoz, R., A. Gonzalez, F. Valdebenito, G. Ciudad, R. Navia, G. Pecchi, dan L. Azocar. 2020. *Fly Ash as a new versatile acid-base catalyst for biodiesel production*. Renewable Energy, Volume 162, December 2020, Pages 1931-1939.
- Naibaho, P. M. 2012. *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit: Medan.

- Nata, I. F., M. D. Putra, Irawan, Chairul, dan C. K. Lee. 2017. *Catalytic Performance of Sulfonated Carbon Based Solid Acid Catalyst on Esterification of Waste Cooking Oil for Biodiesel Production*. Journal of Solid State Chemistry.
- Pahlevi, R. 2022. Produksi Biodiesel 2025 Ditarget Capai 11,6 Juta Kl, <https://databoks.katadata.co.id/>, diakses 24 Januari 2023.
- Pandit, P. R. dan M. H. Fulekar. 2017. *Egg Shell Waste as Heterogeneous Nanocatalyst for Biodiesel Production: Optimized by Response Surface Methodology*. Journal of Environmental Management. Hal. 319-329. Elsevier Ltd.
- Prihandana, N. D. 2006. *Pengaruh konsentrasi NaOH pada Proses Netralisasi Minyak Ikan Hasil Samping Industri Pengalengan Ikan Terhadap Asam Lemak Bebas dan Komposisi Asam-asam Lemak Tak Jenuh*. Skripsi. Malang: Universitas Islam Negeri Malang.
- Rahardja, I. B., Sukarman, dan A. I. Ramadhan. 2019. *Analisis Kalori Biodiesel Crude Palm Oil (CPO) dengan Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS)*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2019, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 16 Oktober 2019.
- Raharjo, P., F. R. Oktavianto, dan D. Jaya. 2019. *Pengaruh Perbandingan Mol Reaktan dan Waktu Reaksi Terhadap Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sapi*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, Yogyakarta, 25 April 2019.
- Ritonga, M. Y. dan A. Putra. 2015. *Pembuatan Biodiesel Dari RBDPO Dengan Katalis Cangkang Kepah*. Jurnal Teknik Kimia USU, Vol 4, No. 2 (Juni 2015).
- Rizaty, M. A. 2022. *Produksi Biodiesel Indonesia 5,5 Juta Kiloliter hingga Juni 2022*. Artikel. <https://dataindonesia.id/bursa-keuangan/detail/produksi-biodiesel-indonesia-55-juta-kiloliter-hingga-juni-2022>.

- Rodiah, S., D. Erviana, F. Rahman, dan A. W. Budaya. 2020. *Modified CaO Catalyst from Golden Snail Shell (Pomeca canaliculata) for Transesterification Reaction of Used Cooking Oil*. Al-Kimia. 8(1). Vol. 8 No. 1 (2020): June.
- Ruchiyat, A. 2018. *Kajian Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tankos) Sebagai Katalis Basa Pada Reaksi Transesterifikasi Metil Ester*. Jurnal Inovtek Polbeng, Vol. 8, No. 1, Juni 2018.
- Sarandon, K.A., A. L. Siregar, dan I. B. Rahardja. 2019. *Pembentukan Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi Dengan Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS)*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2019, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 16 Oktober 2019.
- Setiawati, E. dan F. Edwar. 2012. *Teknologi Pengolahan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Teknik Mikrofiltrasi dan Transesterifikasi sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel*. Jurnal Riset Industri, 117-127.
- Setyadji, M. dan E. Susiantini. 2007. *Pengaruh Penambahan Biodiesel dari Minyak Jelantah pada Solar Terhadap Opasitas dan Emisi Gas Buang CO, CO₂, dan HC*. Prosiding PPI-PDIPTN Puspek Akselerator dan Proses Bahan BATAN Yogyakarta, ISSN 0216-3128.
- Sibarani, J., S. Khairi, Yoeswono, K. Wijaya, dan I. Tahir. 2007. *Effect of Palm Empty Bunch Ash On Transesterification of Palm Oil Into Biodiesel*. Indo. J. Chem., 2007, 7(3), 314-319.
- Silitonga, A. S., H. H. Masjuki, T. M. Mahlia, H. C. Ong, W.T. Chong, dan M. H. Boosroh. 2013. *Overview Properties of Biodiesel Blens from Edible and Non-edible Feedstock*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22, 346-360.
- Sinaga, S. V., A. Haryanto, dan S. Triyono. 2014. *Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah*. Jurnal Teknik Pertanian Lampung, Vol. 3 No. 1: 27-34.

- Soerawidjaja, T. H. 2006. *Minyak-Lemak dan Produk-Produk Kimia Lain dari Kelapa*. Handout Kuliah Proses Industri Kimia, Fakultas Teknik, ITB, Bandung.
- Suminta. 2006. *Teknologi Pengolahan Biodiesel dari Minyak Goreng Limbah Ikan*. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Sutiah, K., S. Firdaus, dan W. S. Budi. 2008. *Studi Kualitas Minyak Goreng Dengan Parameter Viskositas dan Indeks Bias*. Berkala Fisika, 11, 53-58.
- Swern, D. 1982. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Vol 2, 4-ed, John Wiley and Sons, New York.
- Taslim, I., O. Bani, S. Z. D. M. Parinduri, dan P. R. W. Ningsih. 2018. *Biodiesel production from rice bran oil by transesterification using heterogeneous catalyst natural zeolite modified with K_2CO_3* . IOP Conf. Series: Materials Science dan Engineering 309 (2018) 012107, doi: 10.1088/1757-899X/309/1/012107.
- Turnip, J. R., T. F. L. Tarigan, dan M. S. Sinaga. 2017. *Pengaruh Massa Katalis dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel dari Limbah Minyak Jelantah Dengan Menggunakan Katalis Heterogen K_2O dari Limbah Kulit Kakao*. Jurnal Teknik Kimia USU, Vol. 6, No. 2 (Juni 2017).
- Tyson, K. S. 2004. *Energy Efficiency and Renewable Energy*. US Department of Energy. New York.
- Wenten, I G. dan M. H. Nasution. 2010. *Review Proses Produksi Biodiesel Dengan Menggunakan Membran Reaktor*. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010, ISSN : 1411-4216.
- Widyastuti, L. 2007. *Reaksi Metanolisis Minyak Biji Jarak Pagar Menjadi Metil Ester Sebagai Bahan Bakar Pengganti Minyak Diesel Dengan Menggunakan Katalis KOH*. Skripsi, Jurusan Kimia Universitas Negeri Semarang.

- Wulandari, R. 2015. *Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Novozym® 435 Dalam Sistem Pelarut $CHCl_3$ Untuk Menghasilkan Biodiesel*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Yitnowati, U., Yoeswono, T. D. Wahyuningsih, dan I. Tahir. 2008. *Pemanfaatan Abu Tandan Kosong Sawit Sebagai Sumber Katalis Basa (K_2CO_3) Pada Pembuatan Biodiesel Minyak Jarak *Ricinus communis**. Makalah Seminar Nasional Kimia XVIII, Jurusan Kimia FMIPA UGM, Yogyakarta, 10 Juli 2008.
- Yoeswono, J. S., dan S. Khairi. 2008. *Pemanfaatan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Katalis Basa pada Reaksi Transesterifikasi dalam Pembuatan Biodiesel*. PKMI 2008.
- Yoeswono, Triyono, dan I. Tahir. 2007. *Pemanfaatan Limbah Abu Tandan Kosong Sawit Sebagai Katalis Basa Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Sawit*. J. Manusia dan Lingkungan, Vol. 14, No. 2, Juli 2007: 55-62.
- Zadra, R. 2006. *Improving Process Efficiency by The Usage of Alcoholates in The Biodiesel Production*. IV Forum Brazil-Alemanhasobrerazil Aracatuba.
- Zuhdi. 2002. *Preparasi, modifikasi, dan karakterisasi katalis Ni-Mo/Zeolit alam dan Mo-Ni/Zeolit Alam*. Jurnal Teknoin. 10(4):269-283.