

TESIS
PEMBUATAN BIODIESEL BERBAHAN BAKU
MINYAK DARI AIR LIMBAH COOLING POND
DENGAN KATALIS ESTERIFIKASI KARBON
SULFONAT SERTA KATALIS TRANSESTERIFIKASI
K₂CO₃ DAN Na₂CO₃



CHANDRA FITRI KOLAKANINGRUM
03012681822004

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021

TESIS
PEMBUATAN BIODIESEL BERBAHAN BAKU
MINYAK DARI AIR LIMBAH COOLING POND
DENGAN KATALIS ESTERIFIKASI KARBON
SULFONAT SERTA KATALIS TRANSESTERIFIKASI
K₂CO₃ DAN Na₂CO₃

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



CHANDRA FITRI KOLAKANINGRUM
03012681822004

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021

HALAMAN PENGESAHAN

PEMBUATAN BIODIESEL BERBAHAN BAKU
MINYAK DARI AIR LIMBAH COOLING POND
DENGAN KATALIS ESTERIFIKASI KARBON
SULFONAT SERTA KATALIS TRANSESTERIFIKASI
 K_2CO_3 DAN Na_2CO_3

TESIS

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

Palembang, Oktober 2021
Menyetujui,
Pembimbing I



Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., PhD.
NIP. 197208092000032001

Pembimbing II



Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T.
NIP. 197808222002122001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 19650615 199512 1002

Mengetahui,



Ketua Jurusan Teknik Kimia

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

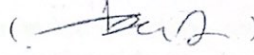
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul “Pembuatan Biodiesel Berbahan Baku Minyak dari Air Limbah Cooling Pond dengan Katalis Esterifikasi Karbon Sulfonat serta Katalis Transesterifikasi K_2CO_3 dan Na_2CO_3 ” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 4 Oktober 2021.


Palembang, 4 Oktober 2021

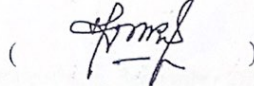
Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

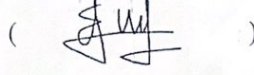
Ketua :

1. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA. ()
NIP. 195610241981032001

Anggota

1. Prof. Dr. Ir. H.M. Said, M.Sc. ()
NIP. 196108121987031003

2. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA. ()
NIP. 196010111985032002

3. Dr. Elda Melwita, S.T., M.T. ()
NIP. 197505112000122001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Chandra Fitri Kolakaningrum
NIM : 03012681822004
Judul Tugas Akhir : Pembuatan Biodiesel Berbahan Baku Minyak dari Air Limbah Cooling Pond dengan Katalis Esterifikasi Karbon Sulfonat serta Katalis Transesetrifikasi K_2CO_3 dan Na_2CO_3

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 yang berlaku.

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



Palembang, September 2021
Yang Membuat Pernyataan,



Chandra Fitri Kolakaningrum
NIM. 03012681822004

RINGKASAN

PEMBUATAN BIODIESEL BERBAHAN BAKU MINYAK DARI LIMBAH COOLING POND DENGAN KATALIS ESTERIFIKASI KARBON SULFONAT SERTA KATALIS TRANSESTERIFIKASI K_2CO_3 DAN Na_2CO_3

Karya tulis ilmiah berupa tesis, April 2021

Chandra Fitri Kolakaningrum, Dibimbing oleh Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D. dan Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T.

Production of Oil-Based Biodiesel from Cooling Pond Wastewater with Esterification Sulfonated Carbon Catalyst and K_2CO_3 and Na_2CO_3 Transesterification Catalysts.

xvi + 117 halaman, 5 Tabel, 22 Gambar, 3 Lampiran

RINGKASAN

Produksi minyak sawit yang tinggi tidak hanya meningkatkan perekonomian masyarakat tetapi juga berpotensi merusak lingkungan karena menghasilkan limbah yang cukup banyak mengandung sisa minyak. Air limbah yang berasal dari proses produksi ini dialirkan ke dalam *cooling pond* sebelum diolah lebih lanjut di kolam aerob maupun anerob. Minyak sisa yang terdapat di dalam *cooling pond* dapat dipungut dan dimanfaatkan, salah satunya untuk dijadikan bahan baku pembuatan biodiesel. Penelitian ini bertujuan untuk membuat biodiesel dari minyak di dalam *cooling pond* melalui metode esterifikasi dengan katalis karbon sulfonat dan metode transesterifikasi dengan katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 . Nisbah katalis divariasikan, untuk esterifikasi sebesar 8-16% dan transesterifikasi sebesar 1-3%. Performa penggunaan ulang katalis karbon sulfonat divariasikan sebanyak tiga kali pengulangan. Berdasarkan hasil penelitian, katalis karbon sulfonat terbukti efektif sebagai katalis heterogen dalam proses esterifikasi karena mampu menurunkan angka asam hingga dibawah 5 mgKOH/ gr minyak. Karbon sulfonat nisbah katalis 12% adalah nisbah optimum yang mampu menurunkan angka asam hingga 4,62 mgKOH/g minyak. Karbon sulfonat *reused* menurunkan angka asam hingga 6,9 mgKOH/g minyak pada *reused* pertama. Pada proses transesterifikasi, Katalis K_2CO_3 lebih baik daripada Na_2CO_3 karena lebih banyak memenuhi karakteristik SNI Biodiesel. Nisbah katalis K_2CO_3 optimum adalah 1,5%. Biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi standar SNI Biodiesel 7182:2015 karakteristik angka asam (0,412 mgKOH/ g minyak), bilangan penyabunan (196,609 mgKOH/g minyak), gliserol bebas (0,008%), kadar ester (96,99%), kinematika viskositas (4,044 cSt), densitas (865 kg/m³), dan kestabilan oksidasi (10,46 jam).

Kata Kunci: air limbah *cooling pond*; esterifikasi; transesterifikasi; karbon sulfonat; K_2CO_3 ; Na_2CO_3 ; biodiesel.

Kepustakaan: 61 (1993-2019)

SUMMARY

PRODUCTION OF OIL-BASED BIODIESEL FROM COOLING POND WASTEWATER WITH ESTERIFICATION SULFONATED CARBON CATALYST AND K_2CO_3 AND Na_2CO_3 TRANSESTERIFICATION CATALYSTS.

Scientific Paper in the form of Tesis, April 2021.

Chandra Fitri Kolakaningrum, Supervised by Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D. and Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T.

Pembuatan Biodiesel Berbahan Baku Minyak dari Limbah Cooling Pond dengan Katalis Esterifikasi Karbon Sulfonat serta Katalis Transesterifikasi K_2CO_3 dan Na_2CO_3 .

xvi + 115 pages, 5 Tables, 22 Pictures, 3 Attachments

SUMMARY

While high production of palm oil improves the community's economy, it has the potential to damage the environment because it produces wastewater containing quite a lot of residual oil. The wastewater caused by this production process flows into the cooling pond before it is further processed in aerobic and anaerobic ponds. The residual oil contained in the cooling pond can be collected and used, such as raw material for biodiesel production. This study aimed to produce oil-based biodiesel in a cooling pond through the esterification method with a sulfonated carbon catalyst and a transesterification method with K_2CO_3 and Na_2CO_3 catalysts. The catalyst ratio was varied, i.e. 8-16% for esterification and 1-3% transesterification. The reuse performance of sulfonated carbon catalysts was varied three times. Based on the research results, sulfonated carbon catalysts were proven to be effective as heterogeneous catalysts in the esterification process because they can reduce acid levels to below 5 mgKOH/gOil. A sulfonated carbon catalyst ratio of 12% is the optimum ratio to reduce the acid level to 4.62 mgKOH/gOil. Reused sulfonated carbon reduces the acid level to 6.9 mgKOH/gOil at the first reuse. In the transesterification process, the K_2CO_3 catalyst has a better performance than Na_2CO_3 because it meets the characteristics of SNI for Biodiesel. The optimum ratio of the K_2CO_3 catalyst is 1.5%. The biodiesel produced has met the characteristics of SNI for Biodiesel of 7182:2015 with the acid number (0.412 mgKOH/gOil), saponification number (196.609 mgKOH/gOil), free glycerol (0.008%), ester content (96.99%), viscosity kinematics (4.044 cSt), density (865 kg/m³), and oxidation stability (10.46 hours).

Keywords: cooling pond wastewater; esterification; transesterification; sulfonated carbon; K_2CO_3 ; Na_2CO_3 ; Biodiesel.

Citations: 62 (1993-2019)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas berkah, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun laporan tesis dengan judul “Pembuatan Biodiesel Berbahan Baku Minyak dari Air Limbah *Cooling Pond* dengan Katalis Esterifikasi Karbon Sulfonat serta Katalis Transesterifikasi K_2CO_3 dan Na_2CO_3 ”. Isi laporan tesis ini dapat berguna bagi pembaca dan biodiesel yang dihasilkan dari *limbah cooling pond* dengan bantuan katalis karbon sulfonat, kalium karbonat, dan natrium karbonat dapat menjadi alternatif yang baik dalam menjaga lingkungan.

Laporan tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Studi Teknik Kimia BKU Teknologi Lingkungan Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Besar harapan isi tesis ini dapat bermanfaat secara nyata bagi kehidupan dan diharapkan mahasiswa dapat melihat dan mempraktekkan secara langsung aplikasi dari ilmu yang didapatkan selama kuliah.

Dalam penyusunan laporan tesis ini, penulis mendapatkan banyak tantangan dan hambatan, namun dengan bantuan dari berbagai pihak sehingga tantangan tersebut bisa teratasi. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada

1. Suami, Orang Tua, dan keluarga tercinta yang telah memberikan doa, semangat, motivasi, dan tenaga yang melimpah sehingga tesis dapat diselesaikan dengan baik.
2. Dr. David Bahrin, S.T., M.T., selaku ketua prodi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya yang turut serta membantu dan mengarahkan agar tesis menjadi lebih baik.
3. Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing tesis ke-1 yang selalu memberikan bimbingan dan arahan hingga pengerjaan tesis berjalan lancar.

4. Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tesis ke-2 yang selalu memberikan arahan dan bimbingan hingga tesis dapat diselesaikan dengan baik.
5. Prof. Dr. Ir. M. Said, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA., Dr. Ir. Susila Arita Rachman, DEA., dan Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D., selaku penguji tesis yang memberikan ilmu dan mengarahkan agar tesis menjadi lebih baik.
6. Kepala Laboratorium dan analisis Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengolahan Limbah, serta kepala laboratorium dan analisis Laboratorium MIPA.
7. Mbak Laras selaku admin prodi Magister Teknik Kimia yang selalu membantu administrasi selama pengerjaan tesis.
8. Teman-teman seperjuangan Magistek Teknik Kimia 2018 dan teman-teman terdekat serta semua pihak yang selalu memberikan dukungan yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhir kata diharapkan kritik dan saran yang bersifat ilmiah dan membangun agar laporan tesis ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak yang berkepentingan.

Palembang, September 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN.....	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Kelapa Sawit	4
2.2. Limbah Industri Minyak Sawit	6
2.2.1. Limbah Padat	6
2.2.2. Limbah Gas	7
2.2.3. Limbah Cair	7
2.3. Proses Ekstraksi dan Destilasi	12
2.4. Biodiesel.....	13
2.4.1. Free Fatty Acid (FFA)	15
2.4.2. Proses Esterifikasi	15
2.4.3. Proses Transesterifikasi	17
2.5. Katalis	19
2.6. Penelitian Terdahulu	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Waktu dan Tempat	23
3.2. Alat dan Bahan	23

3.3. Variabel Penelitian	23
3.4. Diagram Alir Penelitian	23
3.5. Prosedur Penelitian	25
3.5.1. Prosedur Ekstraksi Limbah Cooling Pond	25
3.5.2. Prosedur Destilasi Minyak Limbah	25
3.5.3. Prosedur Esterifikasi Minyak Limbah	25
3.5.4. Prosedur Transesterifikasi Minyak Ester	25
3.5.5. Prosedur Persiapan Katalis Karbon Sulfonat Reused	26
3.6. Metode Analisa	26
3.6.1. Analisa dengan <i>X-Ray Diffraction</i>	26
3.6.2. Analisa SEM	26
3.6.3. Analisa Angka Asam	27
3.6.4. Analisa Densitas dengan Hidrometer	27
3.6.5. Analisa Viskositas Kinematik dengan Viskometer Ostwald	27
3.6.6. Analisa Bilangan Penyabunan	28
3.6.7. Analisa Gliserol Total	28
3.6.8. Analisa Gliserol Bebas	28
3.6.9. Analisa Kadar Ester	29
3.6.10. Analisa Kestabilan Oksidasi dengan Rancimat	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1. Karakterisasi Karbon Sulfonat Cangkang Sawit	30
4.2. Pengaruh Nisbah Katalis Karbon Sulfonat dan Waktu Reaksi terhadap Angka Asam Minyak pada Proses Esterifikasi	31
4.3. Pengaruh Performa Katalis Karbon Sulfonat dan Waktu Reaksi terhadap Angka Asam Minyak pada Proses Esterifikasi	33
4.4. Kinetika Reaksi Esterifikasi	35
4.5. Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Angka Asam Biodiesel pada Proses Transesterifikasi	37
4.6. Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Kadar Ester Biodiesel pada Proses Transesterifikasi	38
4.7. Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Bilangan Penyabunan Biodiesel pada Proses Transesterifikasi	39
4.8. Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Densitas Biodiesel pada Proses Transesterifikasi	40
4.9. Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Viskositas Biodiesel pada Proses Transesterifikasi	42
4.10. Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Gliserol Bebas Biodiesel pada Proses Transesterifikasi	43
4.11. Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap	

Gliserol Total Biodiesel pada Proses Transesterifikasi	44
4.12. Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Kestabilan Oksidasi Biodiesel pada Proses Transesterifikasi	44
4.13. Karakteristik Biodiesel yang dihasilkan dan Biodiesel sesuai SNI Biodiesel 7182:2015	46
BAB V KESIMPULAN	47
5.1. Kesimpulan	47
5.2. Tindak Lanjut	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kualitas Limbah Cair yang Dihasilkan oleh IKS secara umum	7
Tabel 2.2. Baku Mutu Limbah Cair untuk IKS	8
Tabel 2.3. Syarat Mutu Biodiesel	18
Tabel 3.1. Pengaruh Persentase Berat Katalis Cangkang Sawit Sulfonat <i>Fresh</i> dan <i>Reused</i> terhadap Angka Asam Minyak setelah Proses Esterifikasi	27
Tabel 3.2. Pengaruh Persentase Berat Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 <i>Fresh</i> terhadap Angka Asam Minyak setelah proses Transesterifikasi	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Reaksi Pembentukan Ester	16
Gambar 2.2.	Reaksi Pembentukan Ester Tahap 1	16
Gambar 2.3.	Reaksi Pembentukan Ester Tahap 2	16
Gambar 2.4.	Reaksi Pembentukan Ester Tahap 3	17
Gambar 2.5.	Reaksi Pembentukan FAME	17
Gambar 3.1.	Diagram Alir Proses Ekstraksi, Destilasi, Esterifikasi, dan Transesterifikasi	24
Gambar 4.1.	XRD Karbon Sulfonat Cangkang Sawit	30
Gambar 4.2.	Hasil SEM karbon dari cangkang sawit (a dan b); karbon Sulfonat (c dan d)	31
Gambar 4.3.	Pengaruh Waktu Esterifikasi terhadap Presentase Konversi Angka Asam pada Katalis Karbon Sulfonat Fresh.....	32
Gambar 4.4.	Pengaruh Waktu Esterifikasi terhadap Angka Asam Minyak	33
Gambar 4.5.	Pengaruh Waktu Esterifikasi terhadap Presentase Konversi Angka Asam Minyak pada Nisbah Katalis 12%	34
Gambar 4.6.	Pengaruh Waktu Esterifikasi terhadap Angka Asam Minyak Pada Nisbah Katalis 12%	34
Gambar 4.7.	Kinetika Reaksi Esterifikasi	36
Gambar 4.8.	Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Konversi Angka Asam Biodiesel	37
Gambar 4.9.	Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Angka Asam Biodiesel	38
Gambar 4.10.	Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Kadar Ester	39
Gambar 4.11.	Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Bilangan Penyabunan	40
Gambar 4.12.	Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Densitas Biodiesel	41
Gambar 4.13.	Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Viskositas Biodiesel	42
Gambar 4.14.	Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Gliserol Bebas Biodiesel	43
Gambar 4.15.	Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Gliserol Total Biodiesel	44
Gambar 4.16.	Pengaruh Nisbah Katalis K_2CO_3 dan Na_2CO_3 terhadap Kestabilan Oksidasi Biodiesel	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Data Hasil Penelitian	55
Lampiran B. Gambar Dokumentasi Penelitian	104
Lampiran C. Data Hasil Analisa	112

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

CPO	<i>Crude Palm Oil</i> = Minyak Sawit Mentah
POME	<i>Palm Oil Mill Effluent</i> = Limbah Pabrik Kelapa Sawit
FFA	<i>Free Fatty Acid / AA</i> = Angka Asam
TBS	Tandan Buah Segar
IKS	Industri Kelapa Sawit
FAME	<i>Fatty Acids Metyl Ester</i> = Biodiesel
PFAD	<i>Palm Fatty Acid Distillate</i> = Distilat Asam Lemak Sawit
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i> = Difraksi Snar-X
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i> = Mikroskop Scan Elektron (MSE)
OSI	<i>Oil Stability Index</i> = Waktu Induksi
SNI	Standar Nasional Indonesia

DAFTAR SIMBOL

N	<i>Normalitas Titran</i>
m_{minyak}	<i>Massa Minyak</i>
m_{KHF}	<i>Massa KHF</i>
V_{KOH}	<i>Volume KOH</i>
V_{titran}	<i>Volume Titran</i>
BM_{KHF}	<i>Berat Molekul KHF</i>
BM_{KOH}	<i>Berat Molekul KOH</i>
r_A	<i>Laju Reaksi FFA</i>
k	<i>Konstanta Laju Reaksi FFA</i>
C_{A0}	<i>Konsentrasi FFA mula-mula</i>
C_A	<i>Konsentrasi FFA akhir</i>
X_A	<i>Konversi FFA</i>
t	<i>Waktu esterifikasi</i>
T	<i>Temperatur Reaksi</i>
AA	<i>Angka Asam</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peraturan Menteri (Permen) Nomor 12 tahun 2015 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati sebagai Bahan Bakar Lain menyatakan bahwa mulai awal tahun 2020 akan diterapkan B30 pada minyak solar sehingga kebutuhan biodiesel akan meningkat. Industri di Indonesia yang memasok biodiesel menggunakan bahan baku *crude palm oil* (CPO) dan *palm kernel oil* (PKO). Selain CPO dan PKO, limbah cair kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Menurut laporan dari Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS) tahun 2019, dari 1000 kg tandan buah segar dihasilkan limbah cair *palm oil mill effluent* (POME) sebesar 583 kg. Limbah cair POME berupa kondensat pada proses pengolahan kelapa sawit menjadi CPO, sedangkan limbah padat berupa tandan kosong, cangkang, dan serabut. Industri kelapa sawit di Sumsel mengolah limbah kelapa sawit sebelum dibuang ke lingkungan. Limbah cair diolah dengan kolam aerobik untuk mendegradasi komponen limbah sedangkan limbah padat ditebar di perkebunan kelapa sawit sebagai pupuk. Namun pengolahan limbah ini belum optimal dan belum memenuhi baku mutu lingkungan. Pengolahan limbah cair dengan kolam aerobik memerlukan lahan yang luas, memakan waktu yang lama, dan penguapan gas metana langsung ke atmosfer (Agustina, 2019). Sedangkan pengolahan limbah padat sebagai pupuk tidak meningkatkan unsur hara secara nyata dan tidak menambah produksi kelapa sawit (Susilawati dkk, 2015).

Nuryanti dkk (2019) memaparkan kandungan minyak dan lemak dalam *cooling pond* (kolam pendinginan sebelum kolam aerobik) sebesar 9.600 mg/l. Jumlah ini melebihi ambang batas minyak dan lemak yang diperbolehkan yaitu 25 mg/l. Hal ini menunjukkan masih terdapat minyak di *cooling pond* yang jika diolah pada kolam aerobik akan menguapkan gas metana ke lingkungan. Gas metana tersebut berpotensi merusak lingkungan sehingga diperlukannya pengolahan minyak sebelum masuk ke kolam aerobik. Minyak yang terkandung di air limbah *cooling pond* adalah minyak nabati yang dapat dimanfaatkan sebagai biodiesel

(Kusumawardani, 2019). Namun, kandungan *free fatty acid* (FFA) di air limbah *cooling pond* masih tinggi sehingga harus diolah dengan dua proses yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Esterifikasi dan transesterifikasi dapat dibantu dengan katalis. Penggunaan katalis pada pembuatan biodiesel bertujuan agar proses berjalan lebih cepat pada kondisi operasi yang tidak tinggi.

Penelitian Ngaosuwan (2016) menggunakan residu kopi sebagai katalis dalam proses pembuatan biodiesel. Katalis dari residu kopi merupakan katalis berbasis karbon yang merupakan katalis heterogen. Konversi minyak ester yang dihasilkan sebesar 71,5%. Hal ini menunjukkan bahwa katalis berbasis karbon cocok sebagai katalis esterifikasi. Selain itu, pemilihan katalis heterogen dalam pembuatan biodiesel karena pemisahan antara biodiesel, katalis, metanol, dan gliserol lebih mudah daripada katalis homogen (Sani dkk, 2014), serta agar katalis dapat digunakan kembali pada proses pembuatan biodiesel selanjutnya. Salah satu katalis berbasis karbon yaitu limbah padat kelapa sawit. Penelitian Husin (2011) menggunakan limbah kelapa sawit berupa serabut dan tandan kosong sawit sebagai katalis (Husin, 2011). Analisa XRD yang dilakukan pada katalis Husin (2011) menyatakan bahwa K_2CO_3 adalah kandungan tertinggi didalamnya. Limbah padat kelapa sawit lainnya yaitu cangkang sawit akan digunakan pada penelitian ini untuk melihat kemampuannya sebagai katalis biodiesel. Penggunaan K_2CO_3 lainnya terdapat pada penelitian Malins (2018) yang menghasilkan *yield* biodiesel diatas 95% berbahan baku minyak rapa pada temperatur operasi $65^\circ C$, waktu reaksi 310 menit, dan rasio molar minyak terhadap metanol 1/8. Penelitian Malins (2018) juga membandingkan kemampuan K_2CO_3 dan Na_2CO_3 sebagai katalis pada proses biodiesel.

Senyawa K_2CO_3 merupakan garam alkali yang bersifat basa. Senyawa K_2CO_3 terdapat dalam kandungan abu serabut kelapa sawit dan menghasilkan *yield* biodiesel sebesar 87,97% (Husin dkk, 2011), sehingga katalis yang digunakan nantinya dapat diproduksi dari limbah padat industri kelapa sawit. Karbon sulfonat dari cangkang dan serabut sawit sedangkan K_2CO_3 dari serabut dan tandan kosong sawit.

1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pengujian terhadap katalis heterogen asam dan basa yang berupa residu kopi, abu tandan kosong, dan abu serabut sawit. Penelitian tersebut menguji konversi minyak ester dan konversi biodiesel. Hasil dari penelitian sebelumnya menunjukkan katalis berbasis karbon dapat digunakan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel.

Mempertimbangkan pada pengujian sebelumnya, maka penelitian ini akan menguji performa variasi massa katalis cangkang sawit sulfonat yang *fresh* maupun *reused*, K_2CO_3 , dan Na_2CO_3 dalam mengolah air limbah *cooling pond* serta menguji mutu biodiesel yang dihasilkan.

1.3. Tujuan Penelitian

- 1) Mengevaluasi pengaruh nisbah katalis karbon sulfonat dan waktu reaksi terhadap angka asam minyak setelah proses esterifikasi.
- 2) Mengevaluasi performa katalis karbon sulfonat *reused* terhadap penurunan angka asam setelah proses esterifikasi.
- 3) Mengevaluasi pengaruh jenis katalis dan nisbah katalis terhadap karakteristik biodiesel setelah proses transesterifikasi.

1.4. Manfaat Penelitian

- 1) Memberikan informasi dan pengetahuan berupa alternatif katalis dari limbah padat industri kelapa sawit.
- 2) Memberikan informasi dan pengetahuan mengenai proses esterifikasi dan transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel dari air limbah *cooling pond*.
- 3) Dapat dimanfaatkan sebagai referensi dalam penelitian selanjutnya dan acuan dalam pembuatan biodiesel.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

- 1) Penelitian ini merupakan penelitian berskala laboratorium.
- 2) Air limbah *cooling pond* yang digunakan sebagai bahan baku berasal dari industri kelapa sawit di Sumsel.
- 3) Katalis pada proses esterifikasi adalah cangkang sawit sulfonat dari cangkang sawit yang diperoleh dari Laboratorium Kimia Fisika FMIPA Unsri.
- 4) Katalis pada proses transesterifikasi adalah K_2CO_3 dan Na_2CO_3 yang merupakan katalis komersial.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrahman, B.F., Aziz, A.M., Al-Tamer, dan M.H. 2016. Biodiesel Production from *Silybum Marianum* L. Seed Oil with High FFA Content using Sulfonated Carbon Catalyst for Esterification and Base Catalyst for Transesterification. *Journal of Energy Conversion and Management*, 108 255-265.
- Abed, K.A., El Morsi, A.K., Sayed, M.M., El Shaib, M.S.G. 2018. Effect of Waste Cooking-Oil Biodiesel on Performance and Exhaust Emissions of Diesel Engine. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27 (4) : 985-989
- Agustina, T.E., Chandra, I.M., dan Nopriyansyah, M. Arita, S., Hadiah, F., Sari, T.I., Prakoso, T., dan Heraldly, E. 2019. The Extraction of Oil From Cooling Pond Wastewater as A Raw Material for Biodiesel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 845(1) : 1-9.
- Amelia, C., Andini, P., Adhiwardana, S., Prasetyani, T., Budiastuti, H., dan Widarti, S. 2017. Oxidative Resistance and Physical Properties from Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) using Antioxidant X. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia*, 1 : 20-26.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2015. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182: Biodiesel*. Jakarta.
- Baroi, Chinmoy., Yanful, E.K., dan Bergougnou, M.A. 2009. Biodiesel Production from Oil using Potassium Carbonate as an Unsupported Catalyst. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 7 : 1-18
- Barus, T. A. 2004. *Pengantar Limnologi Studi Tentang Ekosistem Air Daratan*. Medan: USU Press.
- Basset, J., Denney, R. C., Jeffery, G. H., dan Mendham, J. 1994. *Buku Ajar Vogel Kimia Analisa Kuantitatif Anorganik*. Jakarta: EGC.
- BW Plantation. 2009. *Annual Report BW Plantation*. Kalimantan.
- Chanakaewsomboon, I., Tongurai, C., Photaworn, S., Kungsanant, S., dan Nikhom, R. 2019. Investigation of Saponification Mechanisms in Biodiesel Production: Microscopic Visualization of the Effects of FFA, Water, and the

- Amount OF Alkaline Catalyst. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, S2213-3437(19)30661-X.
- Chouhan, A.P.S., dan Sarma, A.K. 2011. Modern Heterogeneous catalysts for Biodiesel Production: A Comprehensive Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 : 4378-4399.
- Dalimunthe, I.S., Restuhadi, F., dan Efendi, R. 2016. Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah menggunakan Katalis Basa Heterogen Berbahan Dasar Cangkang Telur Ayam. *Jurnal Online Mahasiswa Faperta*, 3(2) : 1-6.
- Departemen Pertanian. 2006. *Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit*. Jakarta.
- Dewanti, D.P. 2018. Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT*, 19 (1) : 81-87.
- Dinas Perkebunan Sumsel. 2019. *Genjot Produksi CPO, Sumsel Remajakan 23 Hektar Kebun Sawit*. (Online). www.bisnis.tempo.co. Diakses pada 15 Oktober 2019.
- Effendi, H. 2004. *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta: Kanisius.
- Febijanto, I. 2010. Pemanfaatan Potensi Gas Metana di Pabrik Kelapa Sawit Sui Silau PTPN3, Sumatera Utara. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 11 (3) : 459-474.
- Fessenden, R.J. dan Fessenden J.S. 2001. *Kimia Organik Dasar Edisi Ketiga*. Jilid 1. Terjemahan oleh A.H. Pudjaatmaka. Jakarta : Erlangga.
- Fridawati, M. 2008. *Analisa Struktur Kristal dari Lapisan Tipis dengan Metode Difraksi Sinar-X*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Furqon, Nugroho, A.K., dan Anshorulloh, M.K. 2019. Kajian Penggunaan Katalis KOH pada Pembuatan Biodiesel Menggunakan Reverse Flow Biodiesel Reactor secara Batch. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, 12 (1) : 22-31
- Haryono, Rahayu, I., dan Yulyati, Y.B. 2016. Biodiesel dari Minyak Goreng Sawit Bekas dengan Katalis Heterogen CaO: Studi Penentuan Rasio Mol Minyak/Metanol dan Waktu Reaksi Optimum. *Jurnal Eksergi Universitas Padjadjaran*, 13(1) : 1-5.

- Hassan, M. A., Yacob, S., Shirai Y., dan Hung, Y.T. 2004. *Treatment of Palm Oil Wastewaters*. Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment (Second Edition, Revised and Expanded) : 719 – 735. New York : Marcel Dekker Inc.
- Helwani, Z., Othman, M.R., Aziz, N., Kim, J., dan Fernando. W.J.N. 2009. Solid Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Triglycerides with Metanol : A Review. *Review Applied Catalyst A: General*, 363 : 1-10.
- Hidayat, N., Wahab, A., dan Marlina, E. 2019. Pengaruh Katalis CaO terhadap Pembuatan Biodiesel Minyak Jarak dengan Proses Transesterifikasi. *Jurnal Teknik* , FT Universitas Islam Malang.
- Husin, H., Mahidin, dan Marwan. 2011. Studi Penggunaan Katalis Abu Sabut Kelapa, Abu Tandan Sawit dan K_2CO_3 untuk Konversi Minyak Jarak menjadi Biodiesel. *Jurnal Reaktor*, 13 (4) : 254-261.
- Joelianingsih, Maeda, H., Hagiwara, S., Nabetani, H., Sagara, Y., Soerwidjaya, T.H., Tambunan, A.H., dan Abdullah, K. 2008. Biodiesel Fuels From Palm Oil Via The Non-Catalytic Transesterification in A Bubble Column Reactor at Atmospheric Pressure: A Kinetic Study. *Journal of Renewable Energy*, 33 (7) : 1629-1636.
- Kristanto, P. 2002. *Ekologi Industri*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Kusumawardani, D.S., Agustina, T.E., and Siddik, M.A.B. 2019. Utilization of Palm Oil Wastewater as Raw Material Alternative for Transformer Oil. *Indonesia Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 5(2) : 54-58.
- Laila, L. dan Oktavia, L. 2017. Kaji Eksperimen Angka Asam dan Viskositas Biodiesel Berbahan Baku Minyak Kelapa Sawit dari PT. Smart Tbk. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, 2(1) : 27-31.
- Lathiya, D.R., Bhatt, D.V., dan Maberica, K.C. 2018. Synthesis of Sulfonated Carbon Catalyst from Waste Orange Peel for Cost Effective Biodiesel Production. *Journal of Biosource Technology Report*, S2589-014X(18)30029-X.
- Lou, W.Y., Zong, M.H., dan Duan, Z.Q. 2008. Efficient Production of Biodiesel From High Free Fatty Acid Containing Waste Oils using Various

- Carbohydrate-derived Solid Acid Catalysts. *Journal of Bioresource Technology*, 99 (18) : 8752-8758
- Maisarah, S. Manurung, R., Alhamdi, M.A., Syahputra, A., dan Ramadhani, D.A. 2017. Degummed Palm Oil Methanolysis Process Using Choline Chloride (ChCl) and Glycerol Based Deep Eutectic Solvent (DES) as Co-solvent at Biodiesel Production. *International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application*, 6(10) 128-132.
- Malins, K. 2018. The Potential of K_3PO_4 , K_2CO_3 , Na_3PO_4 , and Na_3CO_3 as reusable alkaline catalysts for practical application in Biodiesel Production. *Journal of Fuel Processing Technology*, 179 : 302-312
- Manik, K. E. S. 2003. *Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Djambatan.
- Mantovani, S.A. 2017. Pengaruh Jumlah Katalis dan Waktu Reaksi terhadap Konversi Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Katalis CaO dari Kulit Telur. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 19(2) : 212-222.
- Mc. Cabe, W. L., Smith, J. C., dan Harriot, P. 1993. *Unit Operations of Chemical Engineering Fifth Edition*. New York: Mc Graw Hill Inc.
- Nata, I.F., Putra, M.D., Irawan, C., dan Lee, C.K. 2017. Catalytic Performance of Sulfonated Carbon-Based Solid Acid Catalyst on Esterification of Waste Cooking Oil for Biodiesel Production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5 : 2171-2175.
- Ngaosuwan, K., Goodwin, J.G., dan Prasertdham, P. 2016. A Green Sulfonated Carbon-based Catalyst derived from Coffee Residue for Esterification. *Journal of Renewable Energy*, 86 (2016) : 262-269.
- Ni, Z., Li, F., Wang, H., Wang, S., dan Gao, S. 2019. Catalyst Esterification, Kinetics, and Cold Flow Properties of Isobutyl Palmitate. *Journal of Fuel*, 254(2019) 115368.
- Ningsih, S.H. 2015. The Effect of Glycerol Plasticizer on Characteristics of Mixed Edible Film from Whey and Jelly. *Fundamental and Applied Research on Industrial Engineering Journal*, 7(1) 12-20

- Nirwana dan Irdoni. 2004. Preliminary Study of Synthesis of Polyester from Palm Oil Raw Materials. *International Journal of Science and Applied Technology*, 10 : 45-57.
- Niu, S., Ning, Y., Lu, C., Han, K., Yu, H., dan Zhou, Y. 2018. Esterification of Oleic Acid to Produce Biodiesel Catalyzed by Sulfonated Activated Carbon from Bamboo. *Journal Energy Conversion and Management*, 163 : 59-65.
- Nuryanti, R., Agustina, T.E., and Sari, T.I. 2019. The Utilization of Palm Oil Mill Effluent for Renewable Energy. *Indonesia Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 4(3) : 116-121.
- Nuryono. 2018. *Kimia Anorganik: Struktur dan Ikatan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Pandit, P.R. dan Fulekar, M.H. 2019. Biodiesel Production From Microalgal Biomass using CaO Catalyst Synthesized from Natural Waste Material. *Journal of Renewable Energy*, 136 : 837-845.
- Prihanto, A. dan Irawan, T.A.B. 2017. Pengaruh Temperatur, Konsentrasi Katalis, dan Rasio Molar Metanol-Minyak terhadap Yield Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas melalui Proses Netralisasi-Transesterifikasi. *Jurnal Metana*, 13(1) : 30-36.
- Purba, N. 2011. *Analisa Asam Lemak Bebas (ALB) dari CPO Fresh, CPO Outspec, dan CPO Blending di PTPN III Perdagangan PKS Sei Mangkei*. Laporan Penelitian. Medan : FMIPA USU.
- Said, E.G. 1994. *Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Industri Kelapa Sawit*. Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan Bogor.
- Sangar, K.S., Lan, C.S., Razali, S.M., Farabi, M.S., Taufiq, Y.H. 2019. Methyl Ester Production from Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) using Sulfonated Cow Dung-derived Carbon based Solid Acid Catalyst. *Journal of Energy Conversion and Management*, 196 : 1306-1315.
- Sani, Y.M., Daud, W.M.A.W., dan Aziz, A.R.A. 2014. Activity of Solid Acid Catalysts for Biodiesel Production: A Critical Review. *Applied Catalysis A: General Reviews*, 470 : 140-161.

- Santoso, H., Inggrid, M., Albert, Arvina, S., Paru, M.P., Christiana, E., Santosa, T., dan Fitriah. 2016. Pembuatan Katalis Asam Heterogen dengan Metode Karbonisasi Hidrotermal Satu Tahap. *Laporan Penelitian*. Bandung : Universitas Katolik Parahayangan.
- Saputra, D.A. dan Triyono. 2013. Synthesis and Characterization of MgO/I₃-Alumina Catalysts for Transesterification of Castor Oil (*Ricinus Communis*) into Biodiesel. *Process Engineering Journal*, 11(3) : 30-42.
- Shu, Q., Nawaz, Z., Gao, J., Liao, Y., Zhang, Q., Wang, D., dan Wang, J. 2010. Synthesis of biodiesel from a model waste oil feedstock using a carbon-based solid acid catalyst: Reaction and separation. *Journal Of Bioresource Technology*, 101 : 5374-5384
- Siregar, S. A. 2005. *Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Yogyakarta : Kanisius.
- Sugiharto. 2008. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*. Jakarta: UI Press.
- Susilawati dan Supijatno. 2015. Pengelolaan Limbah Kelapa Sawit (*Elaeus guineensis* Jacq.) di Perkebunan Kelapa Sawit, Riau. *Buletin Agrohoti*, 3 (2) : 203-212.
- Syukri. 2007. *Kimia Dasar 2*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wahyuni, S., Ramli, dan Mahrizal. 2015. Pengaruh Suhu Proses dan Lama Pengendapan terhadap Kualitas Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Pillar of Physics*, 6(10) : 33-40.
- Wedel, R.V. 1999. *Technical Handbook for Marine Biodiesel*. California : CytoCulture International Inc.
- Widyastuti, L.,2007. *Reaksi Metanolisis Minyak Biji Jarak Pagar Menjadi MetilEster Sebagai Bahan Bakar Pengganti Minyak Diesel Dengan Menggunakan Katalis KOH*. Laporan Penelitian. Semarang : UNS.
- Yusuf, M. 2018. Determination of Free Fatty Acid and Saponification Number at PT. Oil Palm Research Center, Medan. *Sustainable Cities and Society Journal*, 41 : 220-226.