

**PENGARUH KOMPOSISI CaO/SiO_2 YANG DISINTESIS DARI BATU
KAPUR DAN BATU APUNG TERHADAP AKTIVITAS KATALITIK
TRANSESTERIFIKASI MINYAK BIJI KARET**

(Skripsi)

Oleh

**NUGRAHA BRAMANTHIO
NPM 1917011031**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

EFFECT OF COMPOSITION OF CaO/SiO₂ SYNTHESIS FROM LIMESTONE AND PUMICE ON CATALYTIC ACTIVITIES IN RUBBER SEED OIL TRANSESTERIFICATION

By

NUGRAHA BRAMANTHIO

Petroleum fuel has the potential to experience scarcity because of the large amount of use and comes from non-renewable sources. Alternative fuels that can be used are biofuels (biodiesel). Indonesia, has great potential to utilize other parts of the rubber plant, namely oil derived from rubber seeds as biodiesel. An effective method for converting rubber seed oil into biodiesel is transesterification. The catalyst used to accelerate the conversion rate of rubber seed oil into biodiesel in this study was a CaO/SiO₂ catalyst synthesized from limestone and pumice. In this research, the composition of CaO to SiO₂ was varied (1:1; 1:2; 1:3; 1:5; and 1:10) which was calcined at 800 °C. Characterization of CaO/SiO₂ catalysts was carried out using Scanning Electron Microscope (SEM), X-Ray Fluorescence (XRF), Brunauer-Emmett-Teller (BET), and Particle Size Analyzer (PSA). The initial transesterification in this study was carried out using various compositions of the CaO/SiO₂ catalyst. Transesterification was also carried out to determine other kinetic factors such as the ratio of oil to methanol, amount of catalyst, and reaction time. The optimum results were obtained by using a CaO/SiO₂ heterogeneous catalyst with a composition of 1:5, using 150 mL of methanol to 25 mL of oil (20 mL of rubber seed oil and 5 mL of coconut oil), the amount of catalyst was 2.5%, the reaction time was 6 hours, and addition of 1 mL H₂SO₄ as a homogeneous catalyst. The results obtained from the conversion of rubber seed oil into biodiesel with a percentage of 100%. The results of the GC-MS analysis showed the formation of methyl esters with the main component being methyl oleate.

Keywords: biodiesel, transesterification, CaO/SiO₂ heterogeneous catalyst.

ABSTRAK

PENGARUH KOMPOSISI CaO/SiO₂ YANG DISINTESIS DARI BATU KAPUR DAN BATU APUNG TERHADAP AKTIVITAS KATALITIK TRANSESTERIFIKASI MINYAK BIJI KARET

Oleh

NUGRAHA BRAMANTHIO

Bahan bakar minyak bumi berpotensi mengalami kelangkaan karena besarnya penggunaan dan berasal dari sumber yang tak terbarukan. Bahan bakar alternatif yang dapat digunakan adalah bahan bakar nabati (biodiesel). Indonesia sebagai produsen karet, memiliki potensi untuk memanfaatkan bagian lain dari tanaman karet, yakni minyak yang berasal dari biji karet sebagai biodiesel. Metode yang efektif untuk mengubah minyak biji karet menjadi biodiesel adalah transesterifikasi. Katalis untuk mempercepat laju konversi minyak biji karet menjadi biodiesel pada penelitian ini yaitu katalis CaO/SiO₂ yang disintesis dari batu kapur dan batu apung. Pada penelitian ini dilakukan variasi komposisi CaO terhadap SiO₂ (1:1; 1:2; 1:3; 1:5; dan 1:10) yang dikalsinasi pada suhu 800 °C. Karakterisasi katalis CaO/SiO₂ dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Brunauer-Emmett-Teller* (BET), dan *Particle Size Analyzer* (PSA). Transesterifikasi awal pada penelitian ini dilakukan menggunakan variasi komposisi dari katalis CaO/SiO₂. Transesterifikasi juga dilakukan untuk mengetahui faktor kinetis lain seperti rasio minyak terhadap metanol, jumlah katalis, dan waktu reaksi. Hasil paling optimum diperoleh dengan penggunaan katalis heterogen CaO/SiO₂ berkomposisi 1:5, penggunaan 25 mL minyak (20 mL minyak biji karet dan 5 mL minyak kelapa) terhadap 150 mL metanol, jumlah katalis sebesar 2,5%, waktu reaksi selama 6 jam, dan penambahan H₂SO₄ 1 mL sebagai katalis homogen. Diperoleh hasil konversi minyak biji karet menjadi biodiesel dengan persentase sebesar 100%. Hasil analisis GC-MS menunjukkan terbentuknya metil ester dengan komponen utama berupa metil oleat.

Kata kunci : biodiesel, transesterifikasi, katalis heterogen CaO/SiO₂

**PENGARUH KOMPOSISI CaO/SiO_2 YANG DISINTESIS DARI BATU
KAPUR DAN BATU APUNG TERHADAP AKTIVITAS KATALITIK
TRANSESTERIFIKASI MINYAK BIJI KARET**

Oleh

NUGRAHA BRAMANTHIO

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **PENGARUH KOMPOSISI CaO/SiO_2
YANG DISINTESIS DARI BATU KAPUR
DAN BATU APUNG TERHADAP
AKTIVITAS KATALITIK
TRANSESTERIFIKASI MINYAK BIJI
KARET**

Nama : **Nugraha Bramanthio**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011031

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**



Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.
NIP. 197212051997032001



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

2. **Ketua Jurusan Kimia FMIPA**



Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si. 

Sekretaris : Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. 

Anggota : Dr. Mita Rilyanti, M.Si. 

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam


Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 Juli 2023

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nugraha Bramanthio
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011031
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi Saya yang berjudul
“Pengaruh Komposisi CaO/SiO₂ yang Disintesis dari Batu Kapur dan Batu Apung
terhadap Aktivitas Katalitik Transesterifikasi Minyak Biji Karet” adalah benar
karya sendiri dan Saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam
skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan
publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 28 Juli 2023



Nugraha Bramanthio

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Gisting pada tanggal 26 Desember 2001. Penulis bernama lengkap Nugraha Bramanthio yang merupakan putra ketiga dari Bapak Sasmito Adi dan Ibu Natalia. Penulis memiliki kakak perempuan bernama Paramita Amalia Nastiti dan kakak laki-laki bernama Bagas Setyadi (almarhum). Penulis telah menyelesaikan pendidikan taman kanak-kanak di TK Aisyah Gisting, sekolah dasar di SD Negeri 1 Gisting, sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Gisting, dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Sumberejo. Setelah lulus SMA penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan S1 Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada tahun 2019.

Selama menjadi mahasiswa penulis banyak mengikuti berbagai kegiatan seperti menjadi anggota dan ketua bidang di Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki), anggota *English Society* (ESo), anggota Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) tingkat Fakultas, anggota peneliti pada penelitian Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM), pembicara pada kegiatan Seminar Nasional Ilmu Lingkungan (SNaIL), pembicara pada kegiatan *The 12th International Conference on Green Technology*, dan lain sebagainya. Penulis dalam pendidikannya telah melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Anorganik Fisik

Universitas Lampung yang diberi judul “Pemanfaatan Cangkang Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) Hasil Pirolisis Sebagai Adsorben Dalam Penurunan Kadar Fosfat Pada Limbah Laundry”, dan mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Kalisari, Wonosobo, Tanggamus. Penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Fisik I pada semester ganjil 2022 untuk mahasiswa kimia angkatan 2021, dan asisten dosen Kimia Fisik II.

Penulis berharap masih dapat meneruskan tulisan-tulisan berikutnya dan dapat memberikan manfaat bagi keluarga, agama, negara, dan ilmu pengetahuan.

“Times is a smooth river for the one who does not notice it, and fierce too
brutal for the one who gazes at it and is snatched by the abyss.”

—Mahmoud Darwis

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan segala kerendahan hati, saya persembahkan karya ini sebagai wujud tanda bakti dan tanggung jawab saya kepada:

Allah SWT

Diri sendiri yang telah berproses sejauh ini.

Kedua orang tua saya, Bapak Sasmito Adi dan Ibu Natalia, yang selalu mendoakan, dukungan, motivasi, dan memberikan segalanya dengan penuh rasa sayang dan cinta.

Kakak-kakak saya yang baik hati, saudara-saudari saya, dan sahabat-sahabat saya.

Pembimbing penelitian saya Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si., Dr. Eng.

Heri Satria, M.Si., dan Dr. Mita Rilyanti, M.Si.

Almamater tercinta.

SANWACANA

Puji syukur saya haturkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas rahmat serta karunia-Nya skripsi ini dapat saya selesaikan. Salam dan shalawat semoga selalu tercurah pada Nabi Muhammad Sallallahu Alaihi Wassalam.

Skripsi dengan judul **PENGARUH KOMPOSISI CaO/SiO₂ YANG DISINTESIS DARI BATU KAPUR DAN BATU APUNG TERHADAP AKTIVITAS KATALITIK TRANSESTERIFIKASI MINYAK BIJI KARET** ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tentu saja saya melibatkan berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu saya mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan semua kesempatan dan hidayah-Nya.
2. Kepada Nugraha Bramanthio selaku diri saya sendiri yang telah menyelesaikan satu perjalanan kecil untuk mulai menulis bagian perjalanan lain. Terimakasih, terimakasih, dan terimakasih.
3. Bapak Sasmito Adi, Ibu Natalia, serta kakak-kakak penulis Paramita Amalia Nastiti dan Almarhum Bagas Setyadi yang senantiasa memberikan do'a dan motivasi kepada penulis.

4. Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si. sebagai pembimbing pertama yang telah membimbing, membantu, dan meluangkan waktu serta pikirannya dalam penyusunan skripsi ini.
5. Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. selaku pembimbing kedua saya yang telah membimbing dan mendukung dalam penyusunan skripsi.
6. Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku pembahas yang telah membimbing, memberikan saran, dan kritik yang membangun sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
7. Mulyono, Ph.D selaku pembimbing akademik yang telah membimbing, mengarahkan, serta memberikan kesempatan untuk berdiskusi terkait perkuliahan dan kemajuan belajar.
8. Seluruh civitas akademika Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung
9. Universitas Lampung atas dukungan keuangan yang diberikan melalui penelitian yang bertema "Hibah *Professorship* Universitas Lampung 2022, dengan nomor kontrak 479/UN26.21/PN/2022". Laboratorium Terpadu dan Pusat Inovasi Teknologi Universitas Lampung atas bantuan teknis dan fasilitas yang telah diberikan untuk mendukung penelitian ini.
10. Sahabat penulis sejak SMP yang dikenal dengan sebutan *Anjass kelas* beranggotakan Yoyok, Riko, Morgan, Agung, dan Bagus yang selalu memberikan kesempatan untuk bertukar cerita dan melepas kejenuhan. Terimakasih banyak dan semoga sukses untuk kalian semua.
11. Sahabat penulis sejak SMA diantaranya Niko, Fiki, Asrofi, Andika, dan Laduna yang telah banyak memberikan tawa, berbagi keluh kesah, dan selalu meluangkan waktu untuk saling membantu. Terimakasih dan mari berkumpul utuh kembali.
12. Rekan seperjuangan dalam grup Kel. Kontrakan Anak Soleh yang sejak awal perkuliahan hingga skripsi ini selesai banyak membantu, mendukung, dan memberikan pengalaman baru kepada penulis.
13. Para sahabat dan teman penulis dalam grup Bebegig, diantaranya Rizky Hadiwijaya, Dian Rifani Muthia, Machrayana, Neng Wiwit Liawati, Sabrina Ocha Felinda, Kania Nur Aisyah, Ayu Ranja Saputri, Siti Solehati, dan Erika

Noviana. Terimakasih banyak telah memberikan kesempatan untuk berada diantara kalian dengan segala bantuan dan motivasi. Semoga ada kesempatan untuk berkumpul dengan segala kehebohan kalian dan semoga sukses untuk kita semua.

14. Rekan PKL dan penelitian, Ranga Nanda Putra, Selvia Anggraini Hasan, dan Erika Noviana yang selalu memberikan dukungan, mengajarkan pentingnya kerja sama, segala bentuk dan cara untuk buat semuanya tidak kenal rasa jenuh. Kalian semua keren, terimakasih sudah bersama-sama menyelesaikan ini.
15. Diska Indah Alista selaku kakak, guru, pembimbing, sekaligus rekan penulis sejak penelitian dimulai. Terimakasih untuk segala bentuk dukungan, pembelajaran, saran, dan semangat yang telah disalurkan kepada penulis.
16. Rekan-rekan dalam grup otw S6 yang penulis harap bisa terus melanjutkan perjalanan ini hingga season dimana kita bisa berkumpul dan membagikan cerita paling berkesan masing-masing.
17. Satu nama spesial yang telah mendukung dan menemani penulis dalam penyusunan skripsi ini, Muthiara Wamiga HS.
18. Seluruh Kimia angkatan 2019 yang telah memberikan penulis kesempatan berada diantara orang-orang hebat.
19. Seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, terimakasih banyak.

Akhir kata, saya menyadari bahwa isi skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membaca dan juga bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 10 Juli 2023

Nugraha Bramanthio
NPM 1917011031

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Biodiesel	6
2.2 Katalis.....	7
2.2.1 Katalis Homogen.....	8
2.2.2 Katalis Heterogen.....	9
2.3 Kalsium Karbonat (CaCO ₃).....	9
2.4 Silika Batu Apung	11
2.5 Metode Sol Gel.....	12
2.6 Karakterisasi Katalis.....	12
2.6.1 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	13
2.6.2 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	14
2.6.3 <i>Brunauer Emmett-Teller</i> (BET)	15
2.6.4 <i>Particle Size Analyzers</i> (PSA).....	16
2.7 Transesterifikasi	17
2.8 Minyak Biji Karet.....	18
2.9 Karakterisasi Biodiesel.....	19
2.10 Sifat-Sifat Penting Biodiesel	21
2.10.1 Viskositas	21
2.10.2 Densitas	22
2.10.3 Titik Nyala	22
2.10.4 Kadar Air.....	22
III. METODE PENELITIAN	24
3.1 Waktu dan Tempat	24
3.2 Alat dan Bahan	24

3.2.1	Alat-alat yang Digunakan	24
3.2.2	Bahan-Bahan yang Digunakan.....	25
3.3	Prosedur Kerja	25
3.3.1	Preparasi Batu Apung	25
3.3.2	Ekstraksi Silika Amorf Batu Apung	26
3.3.3	Preparasi CaO dari Batu Kapur.....	26
3.3.4	Sintesis Komposit CaO/SiO ₂ dengan Metode Sol-Gel	26
3.4	Karakterisasi Katalis CaO/SiO ₂	28
3.4.1	<i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	28
3.4.2	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	28
3.4.3	<i>Brunauer Emmett-Teller</i> (BET)	28
3.4.4	<i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	29
3.5	Ekstraksi Minyak Biji Karet.....	29
3.6	Uji Aktivitas Katalis pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Nabati.....	29
3.7	Analisis Produk Transesterifikasi.....	30
3.7.1	Analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectroscopy</i> (GC-MS) ...	30
3.7.2	Uji Kualitas Biodiesel	30
3.7.2.1	<i>Flash Point</i> (Titik Nyala)	31
3.7.2.2	Densitas	31
3.7.2.3	Viskositas.....	32
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1	Pengantar	33
4.2	Preparasi Batu Apung.....	33
4.3	Ekstraksi Silika Amorf Batu Apung.....	34
4.4	Preparasi CaO dari Batu Kapur	37
4.5	Sintesis Komposit CaO/SiO ₂ dengan Metode Sol-Gel.....	38
4.6	Karakterisasi Katalis CaO/SiO ₂	39
4.6.1	<i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	39
4.6.2	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	40
4.6.3	<i>Brunauer Emmett-Teller</i> (BET)	41
4.6.4	<i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	42
4.7	Ekstraksi Minyak Biji Karet.....	43
4.8	Uji Aktivitas Katalis pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Nabati.....	44
4.8.1	Pengaruh Nisbah Minyak Biji Karet terhadap Metanol.....	46
4.8.2	Pengaruh Jumlah Katalis.....	47
4.8.3	Pengaruh Waktu Reaksi Transesterifikasi	48
4.9	Analisis Produk Transesterifikasi.....	49
4.9.1	Analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectroscopy</i> (GC-MS) ...	49
4.9.2	Analisis Kualitas Biodiesel	50
V.	SIMPULAN DAN SARAN.....	52
5.1	Simpulan.....	52
5.2	Saran	53
	DAFTAR PUSTAKA.....	54
	LAMPIRAN.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi kimia batu kapur hasil pengujian dengan XRF.....	10
2. Komposisi asam lemak dalam minyak biji karet	19
3. Komponen kimia dari produk transesterifikasi minyak biji karet.....	20
4. Data perbandingan massa CaO/SiO ₂	27
5. Data hasil ekstraksi silika batu apung	35
6. Data hasil analisis XRF silika batu apung (NaOH 2,5 M).....	36
7. Data komposisi katalis CaO/SiO ₂ dengan variasi komposisi.....	39
8. Hasil karakterisasi BET katalis CaO/SiO ₂ 1:5 suhu kalsinasi 800 °C	41
9. Persen konversi pengaruh variasi komposisi katalis CaO/SiO ₂	45
10. Persen konversi pengaruh nisbah minyak biji karet terhadap metanol	46
11. Persen konversi pengaruh jumlah katalis	47
12. Persen konversi pengaruh waktu reaksi transesterifikasi	48
13. Komposisi biodiesel minyak biji karet dengan katalis CaO/SiO ₂ 1:5	50
14. Hasil uji parameter fisik biodiesel	51
15. Hasil karakterisasi XRF (Lampiran)	67
16. Hasil karakterisasi PSA (Lampiran).....	69
17. Syarat mutu biodiesel sesuai data SNI 7182:2015 (Lampiran).....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Reaksi transesterifikasi.	7
2. Batu apung	11
3. Spektrum hasil analisis XRF pada CaO	13
4. Hasil analisis SEM	15
5. Penyerapan molekul gas nitrogen oleh permukaan serat padat	16
6. Skema instrumen PSA.....	17
7. Kromatogram GC dari produk transesterifikasi minyak biji karet.....	20
8. Preparasi batu apung	34
9. Pola difraksi XRD silika batu apung pada konsentrasi NaOH	35
10. Ekstraksi silika amorf batu apung	37
11. Bubuk CaO.....	37
12. Sintesis komposit CaO/SiO ₂ dengan metode sol-gel	38
13. Mikrograf SEM	40
14. Grafik karakterisasi PSA katalis CaO/SiO ₂ 1:5 suhu kalsinasi 800 °C.....	42
15. Ekstraksi minyak biji karet	43
16. Alat refluks.....	44
17. Pemisahan produk transesterifikasi.....	45
18. Kromatogram biodiesel minyak biji karet.....	49
19. Mikrograf SEM (Lampiran).....	68

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar dari minyak bumi sudah digunakan sejak dahulu oleh masyarakat. Kebutuhan akan bahan bakar minyak bumi kian meningkat sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk dan kemajuan teknologi. Penggunaan minyak bumi sebagai bahan bakar kendaraan menjadi fungsi dominan yang belum tergantikan. Saat ini sudah diperkenalkan sumber energi alternatif lain berupa energi listrik tetapi belum dapat menggantikan fungsi bahan bakar minyak bumi karena harga dan biaya pelayanan yang relatif sangat tinggi. Keterbatasan cadangan minyak bumi menjadi perhatian serius pemerintah Indonesia untuk mengurangi penggunaan bahan bakar minyak bumi dengan bahan bakar nabati sesuai dengan Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2006 tertanggal 25 Januari 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati sebagai bahan bakar lain.

Biodiesel salah satu bahan bakar alternatif yang menjanjikan, bersifat ramah lingkungan, tidak mempunyai efek terhadap kesehatan yang dapat dipakai sebagai bahan bakar kendaraan bermotor yang dapat menurunkan emisi bila dibandingkan dengan minyak diesel (Devita, 2015). Keuntungan penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar antara lain dapat terurai secara alamiah dan dapat diperbaharui. Biodiesel bersifat *biodegradable* dan tidak mengandung unsur berbahaya seperti Pb. Emisi gas buangan dari biodiesel pun lebih sedikit dibandingkan dari bahan bakar minyak bumi/fosil dan memiliki hasil pelumasan yang baik sehingga dapat memperpanjang masa mesin (Aziz dkk., 2011). Secara umum minyak nabati yang sering digunakan untuk pembuatan biodiesel antara lain minyak kelapa sawit

(Mardawati dkk., 2019), minyak biji karet (Pandiangan *et al.*, 2016), minyak jarak pagar (Kumar and Raheman, 2007), dan minyak kelapa (Pandiangan *et al.*, 2016).

Proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati umumnya dibuat dengan reaksi transesterifikasi antara minyak dan alkohol menggunakan katalis homogen atau heterogen dengan mekanisme pembentukan ester dan gliserol dari trigliserin (lemak/minyak). Katalis homogen yang merupakan katalis berfasa sama dengan reaktannya mempunyai beberapa kelemahan, seperti terbentuknya produk samping berupa sabun sehingga menurunkan *yield* biodiesel dan mempersulit proses pemisahan biodiesel dengan katalis, serta bersifat korosif dan limbahnya dapat mencemari lingkungan. Untuk mengatasi masalah tersebut, mulai dikembangkan penggunaan katalis heterogen untuk menggantikan katalis homogen. Penggunaan katalis heterogen jauh lebih menguntungkan dan mempermudah proses pemisahan katalis dari hasil transesterifikasi sehingga dapat digunakan kembali (Highina *et al.*, 2011).

Katalis heterogen merupakan katalis yang berfasa berbeda dengan reaktannya, seperti padatan yang digunakan pada reaktan berfasa cair atau gas. Beberapa contoh katalis heterogen yang sudah digunakan dalam proses transesterifikasi misalnya MgO, SrO, Zeolit, ZnO, TiO₂, CaO, CaCO₃, dan Al₂O₃ (Wendi dkk., 2015). Katalis heterogen terdiri dari dua komponen dasar, yakni penyangga dan situs aktif. Penyangga adalah zat padat berpori dimana situs aktif ditempatkan. Berbagai zat yang telah digunakan sebagai penyangga katalis heterogen adalah alumina (Evangelista *et al.*, 2012), zeolit (Wu *et al.*, 2013), dan silika (Pandiangan and Simanjuntak, 2013). Situs aktif yang digunakan pada umumnya adalah oksida logam, misalnya CaO (Moholkar *et al.*, 2013), MgO (Sharma *et al.*, 2010), dan SrO (Ali *et al.*, 2012). Oksida logam berpenyangga yang umum untuk digunakan pada reaksi transesterifikasi, misalnya MgO/SiO₂ (Pandiangan *et al.*, 2021), CaO/SiO₂ (Chen *et al.*, 2015; Pandiangan *et al.*, 2019), dan SrO/SiO₂ (Widiarti *et al.*, 2017). Pada penelitian ini digunakan CaO/SiO₂ sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi minyak biji karet.

Sumber bahan baku CaO dari penelitian ini berasal dari batu kapur yang diambil di Halaban Sumatera Barat memiliki kandungan Ca sebesar 98% (Pandiangan *et*

al., 2019). CaO dipilih karena banyak penelitian telah mengungkapkan bahwa oksida ini menunjukkan aktivitas katalitik yang tinggi untuk reaksi transesterifikasi. Selain itu CaO sangat murah, tidak beracun, memiliki kelarutan yang rendah dalam metanol, dan dapat diperoleh dari berbagai sumber dengan cara yang sederhana (Pandiangan *et al.*, 2016). Oksida CaO diperoleh dari batu kapur karena ikatan pada senyawa CaCO_3 akan terputus apabila diberi energi panas. Pemberian energi panas (kalsinasi) mengacu pada proses *thermal decomposition* untuk menghasilkan senyawa kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida (CO_2) (Ginting, 2004).

Penyangga yang digunakan pada penelitian ini adalah silika. Batu apung yang merupakan salah satu batuan vulkanik berpori yang mengandung proporsi yang signifikan untuk silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3). Berdasarkan laporan dari Trianasari *et al.* (2017) komponen yang terdapat di dalam batu apung didominasi oleh komponen SiO_2 dan Al_2O_3 masing-masing sebesar 48 dan 14,9%. Ekstraksi SiO_2 dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel. Metode ini dilakukan untuk memisahkan zat-zat terlarut antara dua cairan yang tidak saling mencampur. Kondisi proses ekstraksi yang meliputi suhu, konsentrasi pelarut, waktu ekstraksi, dan pengadukan merupakan faktor yang sangat mempengaruhi keberhasilan proses ekstraksi (Adziimaa *et al.*, 2013).

Katalis CaO/SiO_2 disintesis menggunakan metode sol gel. Kelebihan penggunaan metode sol gel untuk preparasi katalis heterogen antara lain derajat dan kemurnian produk akhir dengan homogenitas yang tinggi, suhu perlakuan rendah, perlakuan mudah, sangat tepat untuk sintesis material yang memerlukan kontrol bentuk, ukuran, serta komposisi oksida logam (Singh *et al.*, 2011).

Sintesis pada penelitian ini dilakukan dengan bervariasi komposisi massa CaO terhadap SiO_2 . Aktivasi padatan digunakan sebagai katalis dengan kalsinasi pada suhu $800\text{ }^\circ\text{C}$ karena dilaporkan suhu tersebut memiliki aktivitas katalitik tertinggi pada reaksi transesterifikasi (Pandiangan *et al.*, 2016). Karakterisasi material dilakukan dengan teknik *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *Brunauer Emmett-Teller (BET)*, dan *Particle Size Analyzer (PSA)*.

Uji aktivitas katalitik CaO/SiO₂ dilakukan pada reaksi transesterifikasi minyak biji karet. Indonesia berada di posisi kedua dengan rata-rata produksi karet selama 2014-2018 sebesar 3,37 juta ton. Kontribusi rata-rata produksi karet dari Indonesia di dunia mencapai 23,44%. Besarnya produksi karet berbanding lurus dengan lahan produksi tanaman karet. Karet termasuk tanaman perkebunan non pangan yang saat ini produksinya tidak banyak terserap oleh pasar, 1 hektar lahan karet diperkirakan dapat menghasilkan 5.050 kg biji karet per tahun. Dengan rendemen minyak biji karet (kering) yaitu 40-50% (Pandiangan *et al.*, 2019), maka setiap hektar tanaman karet berpotensi menghasilkan 1.000 L minyak. Hal-hal yang mempengaruhi reaksi transesterifikasi minyak biji karet meliputi rasio minyak biji karet terhadap metanol, jumlah katalis, dan waktu transesterifikasi yang akan dipelajari pengaruhnya pada penelitian ini. Produk transesterifikasi yang diperoleh pada penelitian ini kemudian dianalisis dengan metode *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS).

Berdasarkan uraian yang dipaparkan, penelitian ini digagas untuk mengkaji karakteristik dan aktivitas katalitik komposit CaO/SiO₂ yang disintesis dari batu kapur dan batu apung untuk produksi biodiesel dari reaksi transesterifikasi minyak biji karet dengan metanol.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini yaitu:

1. Memperoleh komposit CaO/SiO₂ dengan memanfaatkan batu kapur dan silika batu apung menggunakan metode sol-gel dengan memvariasikan komposisi CaO terhadap SiO₂.
2. Memperoleh hasil dan mengkarakterisasi katalis CaO/SiO₂ dengan teknik XRF, SEM, BET, dan PSA.
3. Mengetahui pengaruh faktor kinetis meliputi komposisi katalis, nisbah minyak terhadap metanol, jumlah katalis, dan waktu reaksi yang dapat mempengaruhi rendemen reaksi transesterifikasi untuk produksi biodiesel.

4. Mengetahui hasil analisis produk biodiesel dengan teknik GC-MS dan uji fisik.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan pemanfaatan batu kapur dan batu apung sebagai bahan baku pembuatan katalis.
2. Mendukung produksi biodiesel dengan memanfaatkan pengolahan minyak nabati menggunakan katalis yang tepat.

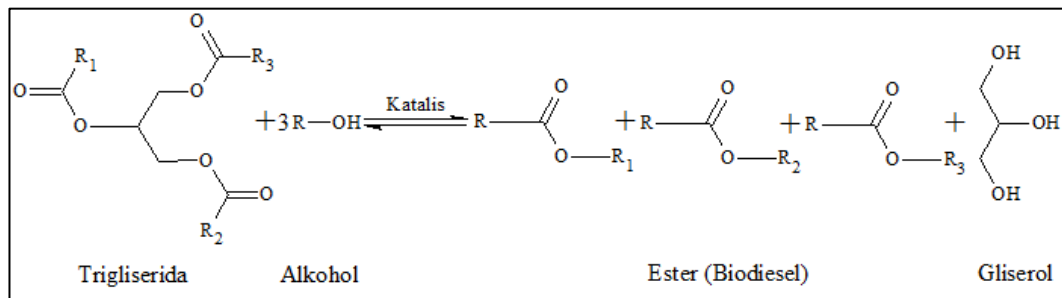
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkil ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar mesin diesel dan terbuat dari sumber terbarui seperti minyak nabati (Nurfadillah, 2010). Produksi biodiesel bermula pada tahun 1900-an ketika Sir Rudolph Diesel berhasil menjalankan mesin diesel konvensional dengan menggunakan minyak nabati tanpa modifikasi apapun. Penelitian lebih lanjut membuktikan bahwa penggunaan minyak nabati dan lemak hewan secara langsung sebagai bahan bakar diesel kurang tepat dikarenakan memiliki massa molekul yang besar, volatilitas yang rendah, dan viskositas kinematik yang tinggi yang berakibat pada penurunan kerja mesin dan munculnya masalah pada mesin. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, beberapa metode telah diujicobakan seperti pencampuran biodiesel dengan petrodiesel, mikroemulsifikasi, pirolisis, dan transesterifikasi (Zahan and Kano, 2018).

Biodiesel dihasilkan dari reaksi transesterifikasi trigliserida (minyak) dengan alkohol ringan menggunakan katalis basa. Alkohol yang digunakan biasanya metanol atau etanol (Widianto dan Utomo, 2010). Biodiesel umumnya berbahan baku minyak nabati. Minyak nabati merupakan bahan baku yang potensial karena keberadaannya dapat diperbaharui. Pemanfaatan minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel memiliki beberapa kelebihan, diantaranya pembuatan biodiesel dari minyak nabati relatif lebih mudah dan cepat (Hambali *et al.*, 2007). Selain itu, biodiesel memiliki sifat pembakaran yang menyerupai petroleum

diesel, namun bebas sulfur sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih bersih. Berikut reaksi transesterifikasi yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi transesterifikasi (Aziz dkk., 2011).

2.2 Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang dapat mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Kerja katalis adalah dengan cara memperbesar kecepatan reaksi dengan jalan memperkecil energi pengaktifan suatu reaksi dan dibentuknya tahap-tahap reaksi yang baru. Dengan menurunnya energi pengaktifan maka pada suhu yang sama reaksi dapat berlangsung lebih cepat. Katalis akan mempercepat reaksi karena katalis akan mencari jalan dengan energi aktivasi yang lebih rendah sehingga reaksinya akan berlangsung lebih cepat (Chang, 2010).

Suatu reaksi yang berlangsung membutuhkan katalis untuk mengurangi energi yang diperlukan (Pandiangan *et al.*, 2017). Katalis dapat memperbaiki kualitas dan kuantitas produk buangnya serta bisa menurunkan waktu reaksi inisiasinya, dalam waktu tertentu penggunaan katalis dapat mengakibatkan penurunan aktivitas karena mengalami deaktivasi. Adanya deaktivasi ini diakibatkan karena adanya suatu pengotor. Karakteristik katalis dapat dipengaruhi oleh aktivitas dan selektivitas dari katalis itu sendiri.

Terdapat beberapa kriteria yang harus diperhatikan untuk menilai layak atau tidaknya suatu katalis untuk digunakan dalam suatu reaksi, diantaranya:

1. Aktivitas, yaitu kemampuan katalis untuk mengkonversi reaktan menjadi produk yang diinginkan.
2. Selektifitas, yaitu kemampuan katalis mempercepat reaksi yang diinginkan diantara beberapa reaksi yang mungkin terjadi.
3. *Yield*, yaitu jumlah produk yang terbentuk untuk setiap satuan reaktan yang dikonsumsi.
4. Kestabilan, yaitu lamanya katalis memiliki aktivitas dan selektifitas seperti keadaan semula.
5. Kemudahan diregenerasi, yaitu proses mengembalikan aktivitas dan selektifitas katalis seperti keadaan semula (Tarigan, 2007).

2.2.1 Katalis Homogen

Katalis homogen merupakan katalis yang memiliki fasa sama dengan reaktan dan produk. Penggunaan katalis homogen ini mempunyai kelemahan, diantaranya mencemari lingkungan, tidak dapat digunakan kembali, korosif, sulit dipisahkan dari produk sehingga terbuang pada saat pencucian, dan tidak dapat digunakan kembali (Widyastuti, 2007). Keunggulan dari katalis homogen adalah konversi reaksi yang dihasilkan lebih besar dibandingkan penggunaan katalis heterogen, tidak membutuhkan suhu dan tekanan yang tinggi dalam reaksi (Setyawardhani dan Distantina, 2010). Penggunaan katalis homogen yang umum digunakan saat ini adalah katalis homogen berupa asam kuat seperti HCl (Boucher *et al.*, 2008; Jyoti *et al.*, 2018), dan H₂SO₄ (Ong *et al.*, 2013), atau berupa basa kuat seperti NaOH (Reyero *et al.*, 2015) dan KOH (Singh *et al.*, 2011).

2.2.2 Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah paduan dua komponen utama, yakni zat padat berpori sebagai penyangga dan situs aktif yang berperan dalam memacu reaksi. Secara umum, penopang katalis merupakan zat padat berpori yang mampu mengikat situs aktif dan berperan dalam mengikat reaktan dipermukaan sehingga dapat berinteraksi dengan efektif dengan situs aktif untuk mendorong terjadinya reaksi. Berbagai zat yang telah digunakan sebagai penyangga katalis heterogen adalah alumina (Evangelista *et al.*, 2012), zeolit (Wu *et al.*, 2013), dan silika (Pandiangan and Simanjuntak, 2013). Situs aktif yang digunakan pada umumnya adalah oksida logam, misalnya CaO (Moholkar *et al.*, 2013), MgO (Sharma *et al.*, 2010), dan SrO (Ali *et al.*, 2012). Pengembangan dari penggunaan katalis heterogen dibandingkan katalis homogen yakni lebih efektif, tidak korosif, mudah dipisahkan dari produk yang dihasilkan, dan dapat digunakan kembali (Zabeti *et al.*, 2009).

2.3 Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan zat yang umum ditemukan di batuan dan merupakan komponen utama yang terdapat dalam batu kapur, mutiara, cangkang organisme laut, kulit telur dan siput. Kalsium karbonat merupakan mineral anorganik yang tersedia dengan harga terjangkau secara komersial. Pada penelitian ini jenis batuan yang digunakan adalah batu kapur sebagai sumber CaCO_3 . Sifat fisis kalsium karbonat seperti, fase, morfologi, ukuran dan distribusi ukuran harus dimodifikasi menurut bidang aplikasinya. Bentuk morfologi dan fase kalsium karbonat (CaCO_3) dapat dipengaruhi oleh kondisi sintesis seperti, suhu, konsentrasi reaktan, zat adiktif alam dan waktu *aging* (Kirboga and Oner, 2013). Seperti yang diketahui bahwa batu kapur mengandung sebagian besar mineral kalsium karbonat yaitu sekitar 95% (Megawati dkk., 2019).

Berbagai oksida logam di alam yang dimanfaatkan sebagai katalis untuk reaksi transesterifikasi dari golongan transisi seperti Fe (Pandiangan *et al.*, 2008), Ti dan Ni (Pandiangan *et al.*, 2010), dari golongan oksida logam alkali tanah seperti CaO (Ibrahim *et al.*, 2013) dan MgO (Nurjannah, 2014). CaO sebagai salah satunya memiliki keunggulan karena mempunyai sifat basa yang tinggi. CaO juga merupakan bahan katalis yang menarik karena ketersediaan bahan bakunya di alam, misalnya batu kapur (Zabeti *et al.*, 2009) dan beberapa bagian hewan, antara lain cangkang telur (Jazie *et al.*, 2013) dan cangkang bekicot (Qoniah dan Prasetyo, 2011). CaO memiliki kelemahan yakni pelarutan Ca yang mengakibatkan penyabunan. Untuk itu, cara yang umum ditempuh adalah dengan menopangkan CaO pada suatu penyangga yang akan mengikat CaO. Penyangga dimaksudkan untuk meningkatkan luas permukaan katalis, agar situs aktif logam dapat terdispersi dengan memadai sehingga mendapatkan aktivitas maksimum (Ketcong *et al.*, 2014). Oksida logam berpenyangga yang umum untuk digunakan pada reaksi transesterifikasi, misalnya MgO/SiO₂ (Pandiangan *et al.*, 2021), CaO/SiO₂ (Chen *et al.*, 2015; Pandiangan *et al.*, 2019) dan SrO/SiO₂ (Widiarti *et al.*, 2017). Berikut komposisi kimia batu kapur hasil analisis pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia batu kapur hasil pengujian dengan XRF

No.	Komposisi Kimia	% Massa
1.	Ca	92,1
2.	Fe	2,38
3.	Mg	0,9
4.	Si	3,0
5.	In	1,4
6.	Ti	0,14
7.	Mn	0,03
8.	Lu	0,14

Sumber: Lukman dkk., 2012.

2.4 Silika Batu Apung

Batu apung merupakan batuan vulkanik berpori yang mengandung silika dan alumina, serta memiliki kandungan besi yang rendah. Persentase komponen yang terdapat di dalam batu apung didominasi oleh komponen SiO_2 dan Al_2O_3 masing-masing sebesar 48 dan 14,9% (Trianasari *et al.*, 2017). Batu apung terjadi bila magma asam muncul ke permukaan dan bersentuhan dengan udara luas secara tiba-tiba. Buih gelas alam dengan gas yang terkandung di dalamnya mempunyai kesempatan untuk keluar dan magma membeku dengan tiba-tiba. Batu apung umumnya terdapat sebagai fragmen yang terlemparkan pada saat gunung api meletus dengan ukuran dari kerikil sampai bongkah. Batu apung umumnya terdapat sebagai lelehan atau aliran permukaan, bahan lepas, atau fragmen dalam gunung api. Batu apung dapat pula dibuat dengan cara memanaskan obsidian, sehingga gasnya keluar. Batu apung berwarna putih abu-abu, kekuningan sampai merah. Tekstur vesikuler dengan ukuran lubang yang bervariasi baik berhubungan satu sama lain atau tidak, struktur dengan lubang yang terorientasi. Terkadang lubang pada batu apung terisi zeolit atau kalsit. Batuan ini tahan terhadap pembekuan embun, tidak begitu higroskopis (menghisap air). Mempunyai sifat pengantar panas yang rendah. Kekuatan tekan antara 30-20 kg/cm^2 . Berikut Gambar 2 menunjukkan gambar dari batu apung.



Gambar 2. Batu apung (Trianasari *et al.*, 2017).

2.5 Metode Sol Gel

Metode sol gel merupakan proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia, dimana terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) menjadi fasa cair kontinyu (gel). Metode sol gel memiliki beberapa keuntungan, antara lain tingkat stabilitas termal yang baik, stabilitas mekanik yang baik, daya tahan pelarut yang baik, dan modifikasi permukaan dapat dilakukan dengan berbagai kemungkinan. Pandiangan and Simanjuntak (2013) telah menggunakan metode sol gel dalam proses preparasi katalis untuk pembuatan biodiesel. Kelebihan penggunaan metode sol gel untuk preparasi katalis heterogen antara lain adalah kemurnian produk akhir dan derajat homogenitasnya tinggi, mudah dilakukan, suhu perlakuan rendah, memungkinkan mensintesis material dengan dispersi yang baik, sangat cocok untuk sintesis material yang memerlukan kontrol bentuk, ukuran, dan komposisi oksida logam (Singh *et al.*, 2011).

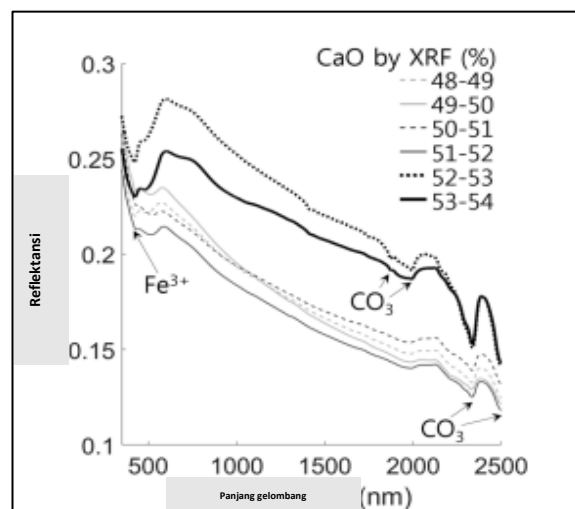
2.6 Karakterisasi Katalis

Karakterisasi merupakan aspek yang sangat penting untuk mendukung data kelengkapan sifat-sifat katalis hasil sintesis. Beberapa karakterisasi yang umum dilakukan pada katalis heterogen adalah analisis komponen penyusun katalis dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF), morfologi permukaan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM), untuk mengetahui ukuran distribusi partikel dengan *Particle Size Analyzer* (PSA), untuk menentukan luas permukaan spesifik dan distribusi partikel dengan metode *Brunauer Emmer-Teller* (BET).

2.6.1 X-Ray Fluorescence (XRF)

XRF adalah metode untuk menganalisis suatu unsur yang berbentuk padatan, bubuk, ataupun sampel cair. Emisi fluoresensi yang dihasilkan sampel saat diradiasi sinar-X akan diteruskan instrumen untuk mengukur panjang gelombang komponen material secara individu. XRF banyak digunakan untuk penentuan unsur-unsur utama serta kuantitasnya dalam persentase didalam sampel yang umumnya berupa elemen mineral.

Prinsip kerja XRF adalah dengan memanfaatkan sinar-X dari tabung pembangkit sinar-X yang difungsikan untuk mengeluarkan elektron dari kulit bagian dalam supaya menghasilkan sinar-X baru dari sampel yang dianalisis. Analisis XRF dilaksanakan dengan mengidentifikasi karakteristik sinar-X yang terjadi karena efek fotolistrik (Kriswarini dan Noviarty, 2010). Spektrometri XRF memanfaatkan elektron dengan energi tinggi. Berikut ini hasil karakterisasi untuk CaO dapat dilihat pada Gambar 3.



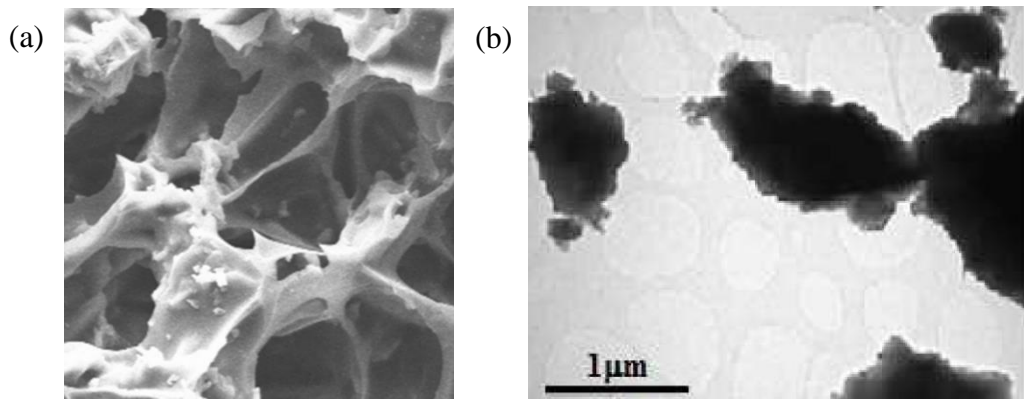
Gambar 3. Spektrum hasil analisis XRF pada CaO (Oh *et al.*, 2017).

2.6.2 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

SEM adalah salah satu jenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi sehingga hasil yang diperoleh dari analisis dengan SEM yaitu bentuk, struktur, serta distribusi pori pada permukaan bahan. Elektron akan dikonsentrasikan pada spesimen dan bayangannya diperbesar dengan lensa objektif dan diproyeksikan pada layar (Larry, 2001).

Prinsip kerja SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi. Permukaan benda yang dikenai berkas elektron akan memantulkan kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah, tetapi ada satu arah berkas dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor di dalam SEM mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Arah tersebut memberikan informasi profil permukaan benda seperti seberapa landai dan kemana arah kemiringan (Fitriana, 2014). Dalam pengukuran SEM, untuk setiap sampel dianalisis dengan menggunakan analisis area. Sinar elektron yang dihasilkan oleh *gun* dialihkan hingga mengenai sampel. Aliran sinar elektron ini selanjutnya difokuskan menggunakan elektron optik coulomb sebelum sinar elektron tersebut membentuk atau mengenai sampel. Setelah sinar elektron mengenai sampel, akan terjadi beberapa interaksi-interaksi pada sampel yang disinari. Interaksi yang terjadi tersebut selanjutnya akan terdeteksi dan diubah ke dalam sebuah gambar oleh analisis SEM (Julinawati dkk., 2015).

Prinsip kerja dari teknik ini yaitu menangkap dan mengolah sinyal fluoresensi sinar-X yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan (spesimen). Sinar-X tersebut dapat dideteksi dengan detektor zat padat, yang dapat menghasilkan pulsa intensitas sebanding dengan panjang gelombang sinar-X. Berikut hasil analisis SEM dari sampel batu apung (Ridha dan Darminto, 2016) dan silika batu apung (Mourhly *et al.*, 2015) dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil analisis SEM (a) batu apung dan (b) silika batu apung.

2.6.3 Brunauer Emmett-Teller (BET)

BET bertujuan untuk menjelaskan adsorpsi fisik molekul gas pada permukaan padat. BET berfungsi sebagai dasar teknik analisis penting untuk pengukuran luas permukaan spesifik bahan. Teori BET berlaku untuk sistem adsorpsi multilayer, dan biasanya menggunakan gas penyelimik yang tidak bereaksi secara kimia dengan permukaan material sebagai adsorbat untuk mengukur luas permukaan tertentu. Luas permukaan, volume total pori, dan rata-rata jari-jari pori merupakan faktor penentu kerja suatu katalis. Suatu bahan padat seperti katalis, memiliki luas permukaan yang dapat dibedakan menjadi luas permukaan eksternal (makroskopik) dan internal (mikroskopik). Luas Permukaan eksternal hanya meliputi permukaan luar bahan, sedangkan luas permukaan internal meliputi semua pori-pori kecil, celah, dan rongga pada padat (Nurwijayadi, 1998).

Karakterisasi BET juga dapat mengetahui hubungan perubahan volume pori per gram sampel ($\text{cc}/\text{nm}^3/\text{g}$) terhadap diameter pori (nm) adsorpsi dan desorpsi yang didapat dari data distribusi ukuran pori CaO/SiO_2 . Luas permukaan spesifik (SSA) sampel dapat dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$SSA = \frac{SA}{M} \quad (1)$$

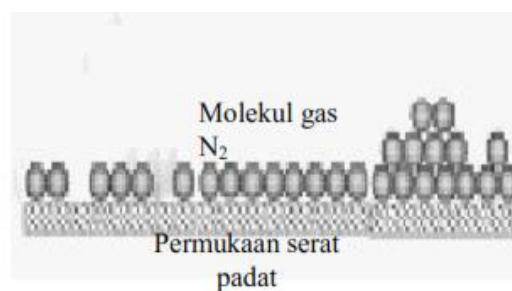
Keterangan:

SSA = *specific surface area* atau luas permukaan spesifik (m^2/g)

SA = *total surface area* atau luas permukaan total (m^2)

M = massa sampel (g)

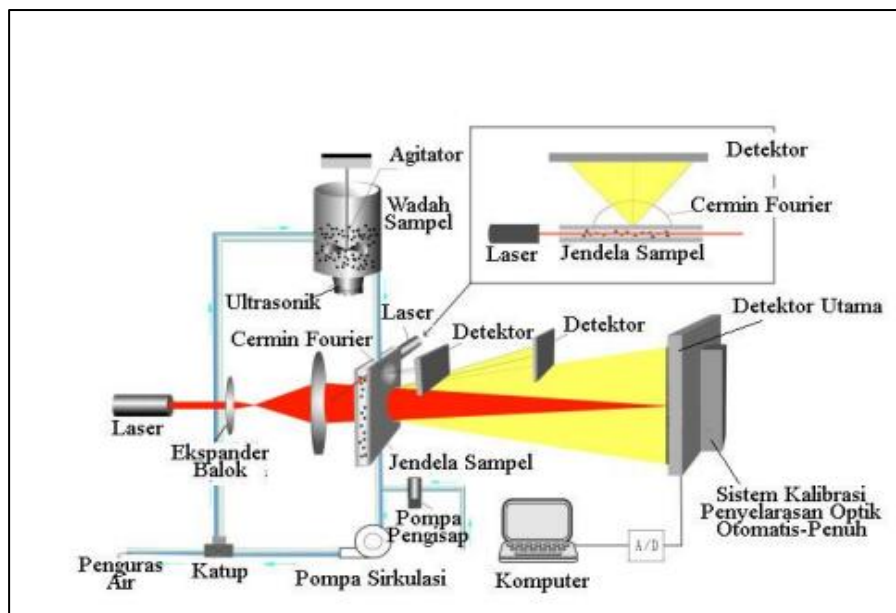
Luas permukaan spesifik didefinisikan sebagai luas permukaan total dibagi dengan massanya, sedangkan luas permukaan total mencakup seluruh bagian permukaan luar dan dalam yang dapat diakses oleh gas (Gibson *et al.*, 2019). Cara kerja BET diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Penyerapan molekul gas nitrogen oleh permukaan serat padat (Mihrianyan, 2005).

2.6.4 Particle Size Analyzers (PSA)

Karakterisasi menggunakan PSA dimaksudkan untuk mengetahui ukuran distribusi partikel dari suatu sampel. Pengukuran sampel dengan PSA biasanya menggunakan metode basah. Metode ini dinilai lebih akurat dibandingkan metode kering ataupun pengukuran partikel dengan metode ayakan dan analisis gambar. Terutama untuk sampel-sampel dalam orde nanometer dan submikron yang biasanya memiliki kecenderungan menggumpal yang tinggi. Skema dari instrumen PSA dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema instrumen PSA (Lubis, 2012).

Pada prinsipnya, berkas cahaya (laser) dilewatkan melalui sel berisi sampel. Sampel dalam ukuran besar terkena cahaya dari laser akan membentuk berkas cahaya dengan sudut yang kecil dan sebaliknya. Selanjutnya sudut yang terbentuk akan diteruskan melewati satu dari dua detector (*back angle detector* dan *right angle detector*), dan selanjutnya diteruskan ke pengolahan data berupa kurva.

2.7 Transesterifikasi

Pembuatan biodiesel dari minyak nabati dilakukan dengan mengkonversi trigliserida (komponen utama minyak nabati) menjadi metil ester asam lemak, dengan memanfaatkan katalis pada proses metanolisis/esterifikasi (Budiman *et al.*, 2014). Transesterifikasi merupakan metode dimana gliserin dipisahkan dari minyak nabati. Proses ini menghasilkan dua produk yaitu metil ester (biodiesel) ester dan gliserin yang merupakan produk samping. Bahan baku utama untuk pembuatan biodiesel antara lain minyak nabati, lemak hewani, lemak bekas/lemak

daur ulang. Semua bahan baku ini mengandung trigliserida, Asam Lemak Bebas (ALB) dan zat pencemar dimana tergantung pada pengolahan pendahuluan dari bahan baku tersebut. Bahan baku penunjang yang digunakan yaitu alkohol.

Pada pembuatan biodiesel dibutuhkan katalis untuk proses esterifikasi, katalis dibutuhkan karena alkohol larut dalam minyak. Alkohol yang digunakan sebagai pereaksi untuk minyak nabati adalah methanol, namun dapat pula digunakan ethanol, isopropanol atau butil, tetapi perlu diperhatikan juga kandungan air dalam alkohol tersebut. Bila kandungan air tinggi akan mempengaruhi hasil biodiesel kualitasnya rendah, karena kandungan sabun, ALB dan trigliserida tinggi. Di samping itu hasil biodiesel juga dipengaruhi oleh tingginya suhu operasi proses produksi, lamanya waktu pencampuran atau kecepatan pencampuran alkohol. Katalisator dibutuhkan pula guna meningkatkan daya larut pada saat reaksi berlangsung, umumnya katalis yang digunakan bersifat basa kuat yaitu NaOH atau KOH atau natrium metoksida (Rahayu, 2005).

2.8 Minyak Biji Karet

Indonesia memiliki perkebunan karet terbesar di dunia (lebih dari 3 juta ha). Selain menghasilkan karet sebagai produk utama, perkebunan karet juga berpotensi menghasilkan produk tambahan berupa biji karet yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber minyak biji karet. Tingginya potensi biji karet sebagai sumber minyak nabati ditunjukkan dengan data bahwa satu hektar tanaman karet (populasi sekitar 500 pohon), umur lebih dari 10 tahun, dapat menghasilkan lebih dari 5 ton biji. Jika kadar lemak biji karet sebesar 32%, maka dapat dihasilkan sekitar 1,5 ton minyak per hektar. Jika biji karet dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku biodiesel, maka lebih dari 4,5 juta liter per tahun biodiesel dapat diproduksi (Hidayat dkk., 2009).

Tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) biji tanaman ini mengandung minyak nabati dalam jumlah yang cukup besar, berkisar antara 40 hingga 59% yang menjadikan minyak nabati *non-edible* ini sebagai bahan baku alternatif yang menarik untuk

produksi biodiesel. Biodiesel yang berasal dari minyak biji karet belum mencapai tahap komersial, tidak seperti yang berasal dari bahan baku lainnya. Hal ini dikarenakan minyak biji karet lebih sulit diubah menjadi biodiesel karena kandungan *Free Fatty Acid* (FFA) yang tinggi dalam minyak yang bisa mencapai 18%. Jumlah besar FFA dalam minyak nabati menyebabkan reaksi saponifikasi dan transesterifikasi secara simultan. Minyak biji karet diekstraksi secara mekanis menggunakan mesin *press* minyak DL-ZYJ02. Kernel biji karet dikeluarkan dari kulitnya dan dipotong menjadi empat bagian. Kernel dikeringkan dalam oven pada suhu 115 °C selama 10 jam untuk mengeluarkan air, dan kernel kering menjadi bahan ekstraksi (Pandiangan *et al.*, 2016). Komposisi asam lemak pada minyak biji karet tertera pada Tabel 2.

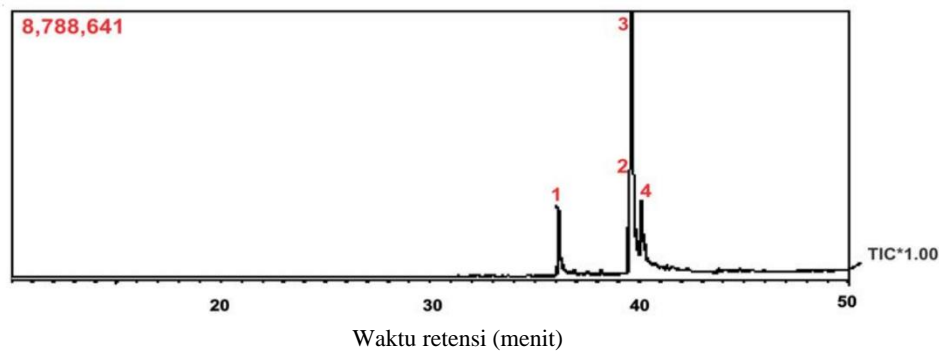
Tabel 2. Komposisi asam lemak dalam minyak biji karet

No.	Komposisi	Persentase (%)
1.	Asam Palmitat	13,11
2.	Asam Stearat	12,66
3.	Asam Arachidat	0,54
4.	Asam Oleat	39,45
5.	Asam Linoleat	33,12
6.	Asam Lemak Lainnya	1,12

Sumber: Setyawardhani dan Distantina, 2010.

2.9 Karakterisasi Biodiesel

Pada penelitian ini biodiesel dikarakterisasi menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). GC-MS merupakan teknik kromatografi gas yang digunakan bersama dengan spektrometri massa. Penggunaan Kromatografi gas dilakukan untuk mencari senyawa yang mudah menguap pada kondisi vakum tinggi dan tekanan rendah jika dipanaskan. Spektrometri massa untuk menentukan bobot molekul, rumus molekul, dan menghasilkan molekul bermuatan (Darmapatni *et al.*, 2016). Contoh umum dari GC kromatogram sampel ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kromatogram GC dari produk transesterifikasi minyak biji karet (Pandiangan *et al.*, 2017).

Dilihat pada Gambar 8 menunjukkan adanya empat puncak yang terpisah, menunjukkan adanya empat komponen kimia dalam sampel. Komponen sampel yang telah diidentifikasi dan hasilnya disajikan dalam Tabel 3, produk transesterifikasi minyak biji karet adalah campuran metil ester dengan metil oleat muncul sebagai komponen utama (Pandiangan *et al.*, 2017).

Tabel 3. Komponen kimia dari produk transesterifikasi minyak biji karet

Waktu Retensi (menit)	Persentasi Relatif (%)	Nama Molekul	Rumus Molekul
36,1	11,83	Metil Palmitat	$C_{17}H_{34}O_2$
39,5	11,77	Metil Linoleat	$C_{19}H_{34}O_2$
39,6	60,80	Metil Oleat	$C_{19}H_{36}O_2$
40,1	13,27	Metil Stearat	$C_{19}H_{38}O_2$

Sumber: Pandiangan *et al.*, 2017.

Prinsip dasar dari GC-MS yaitu molekul-molekul gas bermuatan akan diseleksi berdasarkan massa dan beratnya, spektrum yang didapat dari pengubahan sampel menjadi ion-ion bergerak dipisahkan berdasarkan perbandingan massa terhadap muatan (m/e). Ionisasi menghasilkan fragmen-fragmen yang akan menghasilkan spektrum. Spektrum massa yang dihasilkan akan mempengaruhi sifat molekul, potensial ionisasi, titik uap, dan berfungsi sebagai alat analisis yang mengklasifikasikan tunggal, ganda, kuadropol, atau *time of flight*. Untuk

mengidentifikasi komponen kimia, produk reaksi dianalisis menggunakan gas kromatografi ditambah dengan spektrometri massa (GC-MS).

2.10 Sifat-Sifat Penting Biodiesel

Analisis komponen penyusun biodiesel untuk uji kelayakan biodiesel juga ditentukan dari beberapa parameter fisik. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2015, ada beberapa sifat-sifat penting yang digunakan sebagai standar kelayakan biodiesel pada penelitian ini yang meliputi viskositas, densitas, titik nyala, dan kadar air.

2.10.1 Viskositas

Viskositas adalah resistensi yang dihasilkan dalam cairan untuk mengalir. Cairan yang bergerak cepat seperti air memiliki viskositas yang rendah dan cairan yang bergerak lambat seperti madu memiliki viskositas yang tinggi. Pada umumnya viskositas minyak nabati lebih tinggi dibandingkan dengan viskositas solar, sehingga diperlukan proses transesterifikasi untuk menurunkan viskositas tersebut agar mendekati viskositas biodiesel SNI.

Berdasarkan SNI 7182:2015, biodiesel yang baik harus memiliki viskositas kisaran 2,3-6,0 mm²/s. Beberapa peneliti menguji viskositas biodiesel dari berbagai jenis minyak nabati. Ajiwe *et al.* (2003) melaporkan viskositas biodiesel dari minyak kelapa sawit adalah 4,6 mm²/s, dan Francis *et al.* (2000) melaporkan viskositas biodiesel dari minyak jarak adalah 4,20 mm²/s, hasil tersebut memenuhi standar SNI dan standar ASTM D 6751 dengan kisaran 1,9-6,0 mm²/s.

2.10.2 Densitas

Densitas adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda pada suhu tertentu. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis lebih tinggi (misalnya besi) akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah (misalnya air). Berdasarkan SNI 7182:2015, massa jenis standar biodiesel sebesar 0,850-0,890 g/mL.

2.10.3 Titik Nyala

Titik nyala merupakan suhu terendah dimana aplikasi suatu pembakar (*ignition*) menyebabkan uap suatu spesimen terbakar pada kondisi uji yang spesifik. Menurut Miskah *et al.* (2008) titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalan api sesaat. Titik nyala yang tinggi akan memudahkan penyimpanan bahan bakar, karena minyak tidak akan mudah terbakar pada temperatur ruang (Aziz *et al.*, 2011). Analisis titik nyala dilakukan untuk mengetahui apakah biodiesel yang dihasilkan memenuhi standar SNI 7182:2015 dan layak digunakan sebagai bahan bakar atau tidak. Berdasarkan SNI, biodiesel memiliki titik nyala minimal 100 °C.

2.10.4 Kadar Air

Kadar air dalam biodiesel merupakan salah satu tolak ukur mutu biodiesel. Kadar air dan sedimen yang dihasilkan standarnya dibawah 0,05%. Rendahnya kadar air dan sedimen dapat memperkecil kemungkinan terjadinya reaksi hidrolisis yang dapat menyebabkan kenaikan kadar *acid value*. Kandungan air dalam bahan

bakar juga menyebabkan turunnya panas pembakaran, berbisa dan bersifat korosif jika bereaksi dengan sulfur karena akan membentuk asam.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan (Oktober 2022 - April 2023) di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi BET dilakukan di Institut Teknologi Bandung, karakterisasi PSA dilakukan di Universitas Padjadjaran, karakterisasi XRF dilakukan di Laboratorium Universitas Negeri Padang, karakterisasi SEM dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung, karakterisasi XRD dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Sepuluh November, serta analisis GC-MS dilakukan di Laboratorium Universitas Islam Indonesia.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat-alat yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, neraca analitik, pisau, oven, viskometer, piknometer, perangkat refluks, penangas, *magnetic stirrer*, termometer, peralatan gelas, spatula, alat *press* minyak, botol polipropilen, teflon, tanur, saringan mesh, mortar dan alu, *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan PANanalytical Tipe Xpert MPD, *Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry* (GC-MS) dengan GC-MS model QP2010S SHIMADZU, *Scanning Electron*

Microscope (SEM) dengan ZEISS EVO MA 10, *Particle Size Analyzer* (PSA) dengan Beckman Coulter LS 13 320, *Brunauer Emmett-Teller* (BET) dengan Quantachrome Instruments, dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dengan PANalytical Epsilon 3.

3.2.2 Bahan-Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, biji karet, batu apung, batu kapur, metanol, larutan HNO₃ pekat dan 3 M, larutan NaOH 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; dan 4,0 M, larutan HCl 1 M, akuades, kertas saring, indikator pH universal, larutan H₂SO₄ pekat, dan minyak kelapa.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Preparasi Batu Apung

Batu apung yang diambil dari pinggir pantai Suak, Kalianda, Lampung Selatan dibersihkan dari pengotor. Batu apung direndam dengan menggunakan air, lalu dicuci secara berulang menggunakan akuades dan disikat pada beberapa bagiannya untuk menghilangkan pengotor yang masih menempel pada permukaan batu apung. Batu apung yang telah bersih dari pengotor dikeringkan di bawah sinar matahari selama 12 jam dan dikeringkan kembali dengan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 12 jam. Batu apung yang sudah kering dihaluskan kemudian diayak dengan mesh berukuran 150 nm. Batu apung yang telah berbentuk serbuk dimurnikan dengan menambahkan 150 mL HCl 1 M yang kemudian *diaging* selama 24 jam, disaring, serta dicuci dengan akuades, dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 100 °C. Penambahan HCl dilakukan untuk menghasilkan serbuk batu apung yang minim dengan bahan pengotor

organik dan juga beberapa logam yang diantaranya adalah Fe (Elda dkk., 2021), Ni (Mukhtar dkk., 2022), dan Mg (Lestari dkk., 2017).

3.3.2 Ekstraksi Silika Amorf Batu Apung

Sebanyak 40 g serbuk batu apung diekstraksi dalam 600 mL NaOH pada konsentrasi 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; dan 4,0 M dengan kecepatan pengadukan 300 rpm pada suhu 100 °C selama 24 jam. Natrium silikat yang terbentuk *diaging* selama semalaman pada suhu ruang kemudian disaring filtrat dari residu. Filtrat ditambahkan dengan HNO₃ 3 M hingga memiliki pH netral dan menghasilkan silika gel. Gel *diaging* selama 4 jam, dilanjutkan dengan pencucian dengan akuades panas, dan terakhir dipanaskan pada suhu 100 °C selama 12 jam. Silika yang sudah kering dihaluskan dan disaring menggunakan mesh berukuran 200 nm. Silika batu apung hasil ekstraksi selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRF dan XRD.

3.3.3 Preparasi CaO dari Batu Kapur

Batu kapur yang berasal dari Halaban, Sumatera Barat dibersihkan dari pengotor. Batu kapur dipisahkan dengan pengotor yang berupa batuan kecil. Batu kapur kemudian dihaluskan dan disaring menggunakan mesh berukuran 200 nm. Hasil yang telah halus dikalsinasi dengan suhu 600 °C selama 6 jam.

3.3.4 Sintesis Komposit CaO/SiO₂ dengan Metode Sol-Gel

Preparasi katalis heterogen CaO/SiO₂ dilakukan dengan metode sol-gel seperti pada penelitian sebelumnya (Pandiangan *et al.*, 2016; Samart *et al.*, 2010).

Sebanyak 20 g silika kering hasil ekstraksi dilarutkan ke dalam 600 mL larutan NaOH 1,5% kemudian larutan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Selanjutnya ke dalam sol silika tersebut ditambahkan dopan CaO yang telah dilarutkan dalam HNO₃ pekat hingga pH netral dan terbentuk gel. Sintesis dilakukan dengan komposisi CaO/SiO₂ bervariasi 1:1; 1:2; 1:3; 1:5; dan 1:10. Larutan tetap diaduk dengan pengaduk magnetik supaya distribusi logam merata di dalam larutan, pH dikontrol hingga terjadi pembentukan gel. Gel disaring dan selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 12 jam untuk menghilangkan air. CaO-silika kering kemudian dihaluskan dan selanjutnya dikalsinasi selama enam jam pada suhu sebesar 800 °C (Pandiangan *et al.*, 2016). Selanjutnya CaO/SiO₂ digerus hingga diperoleh katalis dalam bentuk bubuk. Adapun data perbandingan massa CaO/SiO₂ tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. Data perbandingan massa CaO/SiO₂

No.	Massa CaO (gram)	Massa SiO₂ (gram)	Perbandingan
1.	20	20	1:1
2.	20	10	1:2
3.	20	6,67	1:3
4.	20	4	1:5
5.	20	2	1:10

Catatan: Penulisan perbandingan katalis heterogen berpenyangga didahului dengan oksida logam yang berperan sebagai dopan dan disusul oleh situs penyangga.

3.4 Karakterisasi Katalis CaO/SiO₂

3.4.1 *X-Ray Fluorescence (XRF)*

Spektrometri fluoresensi sinar-X (XRF) digunakan untuk penentuan unsur-unsur utama serta kuantitasnya dalam persentase di dalam sampel yang umumnya berupa elemen mineral. Hasil dihitung dalam keadaan unsur, keadaan alami sampel, dan sebagai oksida.

3.4.2 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Karakterisasi menggunakan SEM bertujuan untuk memberikan informasi tentang morfologi permukaan sampel. Alat SEM dioperasikan pada 8 kV dengan tegangan percepatan elektron 20 kV. CaO/SiO₂ hasil sintesis dipindai pada perbesaran 1.000; 5.000; 10.000x, dan 15.000x untuk mendapatkan tampilan permukaan yang lebih baik.

3.4.3 *Brunauer Emmett-Teller (BET)*

Karakterisasi menggunakan BET dilakukan untuk mengetahui luas permukaan spesifik, volume dan jari-jari pori dari CaO/SiO₂ yang disintesis. CaO/SiO₂ hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan nitrogen sebagai adsorben pada temperatur 77,35 K dan *Cross Section Area* 16.200 Å².

3.4.4 Particle Size Analyzer (PSA)

Karakterisasi menggunakan PSA bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dari CaO/SiO_2 hasil sintesis yang akan digunakan dalam reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit. Sampel berupa serbuk yang didispersikan dalam media cair berupa akuades, kemudian diperoleh berupa kurva distribusi ukuran partikel.

3.5 Ekstraksi Minyak Biji Karet

Biji karet yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Way Kanan, Lampung. Biji karet dikupas dan dipisahkan dari cangkang luarnya kemudian dipisahkan dari cangkang bijinya dan dikeringkan di bawah sinar matahari sampai kering. Sebelum dilakukan pengepresan untuk memperoleh minyak biji karet, biji karet kering dimasukkan ke dalam oven selama 20 menit pada suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ untuk menghilangkan kadar air yang masih tersisa dalam biji karet. Pengambilan minyak dari biji karet dilakukan dengan menggunakan mesin *press* dan hasilnya disaring untuk memisahkan minyak dan ampasnya. Minyak biji karet disimpan pada wadah tertutup untuk digunakan pada uji aktivitas katalitik.

3.6 Uji Aktivitas Katalis pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Nabati

Katalis CaO/SiO_2 diuji pada reaksi transesterifikasi minyak biji karet dengan mengkaji pengaruh komposisi CaO terhadap SiO_2 . Variabel kinetis lain kemudian dikaji meliputi pengaruh nisbah minyak terhadap metanol, jumlah katalis, dan waktu reaksi. Pada penelitian ini penggunaan minyak sebanyak 25 mL yang merupakan variabel tetap, terdiri dari 20 mL minyak biji karet serta 5 mL minyak kelapa sebagai ko-reaktan, dan ditambahkan juga H_2SO_4 sebanyak 1 mL. Pada

pengujian awal untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi katalis CaO/SiO₂ yang dikalsinasi pada suhu 800 °C, dilakukan dengan volume minyak sebanyak 25 mL dan volume metanol sebanyak 150 mL. Jumlah katalis sebesar 10% dari berat minyak, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor transesterifikasi.

Transesterifikasi dilakukan pada suhu konstan 70 °C selama 6 jam. Percobaan untuk mempelajari pengaruh nisbah minyak terhadap metanol dilakukan dengan variasi 1:2; 1:3; 1:4; 1:5; dan 1:6. Variasi jumlah katalis yang dilakukan adalah 2,5; 5; 10; 12,5 dan 15% dan waktu transesterifikasi bervariasi yakni 2, 3, 4, 5, dan 6 jam.

3.7 Analisis Produk Transesterifikasi

3.7.1 Analisis *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS)

Produk yang dihasilkan dari uji aktivitas katalis dengan reaksi transesterifikasi minyak biji karet dianalisis dengan menggunakan GC-MS. Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi komponen dalam sampel dan secara khusus untuk melihat apakah senyawa-senyawa dalam sampel mampu diubah menjadi hidrokarbon.

3.7.2 Uji Kualitas Biodiesel

Produk yang dihasilkan pada penelitian ini, diuji kualitasnya dengan beberapa parameter fisik, yakni densitas dan viskositas yang didasarkan pada SNI 7182:2015.

3.7.2.1 *Flash Point* (Titik Nyala)

Berikut langkah-langkah untuk analisis *flash point* bahan bakar cair:

1. Cawan dibersihkan dan dikeringkan sebelum digunakan.
2. Sampel dimasukkan ke dalam cawan hingga batas yang telah ditentukan.
3. Selanjutnya cawan dipanaskan dengan bunsen dan pada bibir cawan dibakar perlahan sambil diukur temperatur sampel.
4. Proses ini dilakukan hingga muncul nyala api pada sampel.
5. Setelah muncul nyala, temperatur sampel dicatat sebagai titik nyala sampel.

3.7.2.2 Densitas

Penentuan densitas dilakukan berdasarkan prinsip kerja yaitu perbandingan massa sampel tanpa udara pada suhu dan volume tertentu dengan massa air pada suhu dan volume yang sama. Langkah-langkah untuk analisis intensitas bahan bakar cair adalah sebagai berikut:

1. Piknometer kosong dikeringkan di dalam oven kemudian ditimbang terlebih dahulu.
2. Lalu piknometer diisi dengan sampel kemudian ditimbang kembali, massa sampel sama dengan selisih antara piknometer kosong dengan piknometer yang berisi sampel.
3. Densitas sampel kemudian dihitung dengan menggunakan Persamaan 2:

$$Densitas = \frac{massa\ sampel}{volume\ sampel} \quad (2)$$

3.7.2.3 Viskositas

Viskositas diukur untuk mengetahui kekentalan suatu sampel. Dalam penelitian ini viskositas yang digunakan adalah viskometer Ostwald. Langkah-langkah dalam analisis viskositas adalah sebagai berikut:

1. Viskometer Ostwald yang digunakan terlebih dahulu dicuci dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C.
2. Viskometer diisi dengan sampel pada suhu kamar
3. Pada kondisi viskometer telah mencapai kondisi yang diinginkan maka ketinggian sampel dengan kapiler disesuaikan dengan menggunakan pompa hisap hingga melebihi sedikit garis batas.
4. Sampel kemudian dibiarkan turun serta dihitung waktu sampai tanda batas.
5. Waktu yang diukur adalah waktu miniskus untuk melewati dari sasaran pertama menuju waktu sasaran kedua
6. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Katalis CaO/SiO_2 dengan variasi komposisi yang berasal dari batu apung dan batu kapur berhasil disintesis menggunakan metode sol-gel.
2. Hasil karakterisasi XRF diperoleh komposisi katalis dengan kadar dominan berupa SiO_2 dan CaO dengan rasio sesuai dengan komposisi yang diinginkan pada penelitian ini. Hasil karakterisasi BET diperoleh katalis CaO/SiO_2 memiliki luas permukaan sebesar $3,4337 \text{ m}^2$, luas permukaan spesifik sebesar $14,9617 \text{ m}^2/\text{g}$, total volume pori sebesar $0,0163 \text{ cc/g}$, dan rata-rata jari-jari pori sebesar $9,4463 \text{ nm}$. Hasil karakterisasi PSA katalis CaO/SiO_2 menunjukkan sampel mempunyai 1 kelompok ukuran partikel dengan ukuran rentang diameter sebesar $2,66\text{-}256,9 \text{ }\mu\text{m}$ dan memiliki nilai distribusi ukuran partikel sebesar $1,977 \text{ }\mu\text{m}$.
3. Parameter pada reaksi transesterifikasi minyak biji karet yang meliputi komposisi katalis, nisbah minyak terhadap metanol, jumlah katalis, dan waktu reaksi menggunakan katalis CaO/SiO_2 1:5 yang dikalsinasi pada suhu $800 \text{ }^\circ\text{C}$ masing-masing memiliki nilai konversi optimum sebesar 100%.
4. Hasil analisis GC-MS menunjukkan kandungan tertinggi dari produk transesterifikasi minyak biji karet yakni metil oleat sebesar 62,66% dan metil palmitat sebesar 11,37%. Data ini sesuai dengan metil ester yang terkandung pada biodiesel minyak biji karet.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini, diperoleh beberapa saran yang dianjurkan untuk perkembangan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Disarankan untuk memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi dalam proses ekstraksi dan sintesis agar didapatkan katalis CaO/SiO_2 dengan kemurnian dan kualitas yang lebih tinggi dari sebelumnya.
2. Disarankan untuk melakukan proses lanjutan seperti menghilangkan sisa metanol agar biodiesel yg dihasilkan dapat memenuhi biodiesel SNI 7182:2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Adziimaa, A., Fauzan, D., Risanti, D., dan Mawarni, L.J. 2013. Sintesis Natrium Silikat dari Lumpur Lapindo sebagai Inhibitor Korosi. *Jurnal Teknik ITS*. 2 (2). 384-89.
- Ajiwe, V.I.E., Ajibola, V.O., and Martins, C.M.A.O. 2003. Biodiesel Fuels from Palm Oil, Palm Oil Methyl Ester and Ester-Diesel Blends. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*. 17(1). 19-26.
- Ali, S., Muhammad, T., and Nasir, K. 2012. Activity of Homogeneous and Heterogeneous Catalysts, Spectroscopic, and Chromatographic Characterization of Biodiesel: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16 (1). 6303-6316.
- Aziz, I., Nurbayti, S., and Ulum, B. 2011. Pembuatan Produk Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Cara Esterifikasi dan Transesterifikasi. *Jurnal Kimia Valensi*. 2 (3). 443-448.
- Boucher, M.B., Unker, S.A., Hawley, K.R., Wilhite, B.A., Stuart, J.D., and Parnas, R.S. 2008. Variables Affecting Homogeneous Acid Catalyst Recoverability and Reuse after Esterification of Concentrated Omega-9 Polyunsaturated Fatty Acids in Vegetable Oil Triglycerides. *Green Chemistry*. 10 (12). 1331-1336.
- Budiman, A., Kusumaningtyas, R.D., Pradana, Y.S., and Lestari, N.A. 2014. *Biodiesel, Bahan Baku, Proses, dan Teknologi*. Gajah Mada University Press dan Anggota IKAPI. Yogyakarta.
- Chang, R. 2010. *Chemistry 10th Edition*. McGraw-Hill. New York.
- Chen, G., Shan, R., Li, S., and Shi, J. 2015. A Biomimetic Silicification Approach

to Synthesize CaO-SiO₂ Catalyst for the Transesterification of Palm Oil into Biodiesel. *Fuel*. 153 (1). 48-55.

Devita, L. 2015. Biodiesel sebagai Bioenergi Alternatif dan Prospektif. *Agrica Ekstensia*. 9 (2). 23-26.

Elda, S.P., Hardheyanti, F., Prasetyowati, R., Ariswan, A., dan Warsono, W. 2021. Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Mikrostruktur dan Sifat Kemagnetan Nanopartikel Fe₃O₄ yang Disintesis dari Pasir Besi Pantai Glagah Kulonprogo. *Jurnal Sains Dasar*. 10 (1). 24-29.

Ernawati, L., Yuasariarta, A.W., Alviany, R., and Halim, A. 2022. Effect of CaO/SiO₂ Compositions on The Structure Formation of Mesoporous Calcium Silicate (CaSiO₃) Composite Particles as Adsorbent for Organic Dye Removal. *Earth and Environmental Science*. 963 (1). 1-10.

Evangelista, J.P.C., Chellappa, T., Coriolano, A.C.F., Fernandes, V.J.L., Souza, D.A., and Raujo, A.S. 2012. Synthesis of Alumina Impregnated with Potassium Iodide Catalyst for Biodiesel Production from Rice Bran Oil. *Fuel Processing Technology*. 104 (1). 90-95.

Fauzi, S. dan Bahrudin, D. 2015. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Karet Menggunakan Reaktor Membran. *Teknik Kimia Lingkungan*. 1 (1). 1-6.

Fitria. 2013. Pengaruh Perbandingan Solar-Biodiesel (Minyak Jelantah) terhadap Emisi Gas Buang pada Motor Diesel. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 53 (9). 1689-1699.

Fitriana, V.N. 2014. *Sintesis dan Karakterisasi Superkapasitor Berbasis Nano Komposit TiO₂/C*. Universitas Negeri Malang. Malang.

Francis, G., Edinger, R., and Becker, K. 2000. A Concept for Simultaneous Wasteland Reclamation, Fuel Production, and Socio-Economic Development in Degraded Areas in India: Need, Potential and Perspectives of Jatropha Plantations. *Natural Resources Forum*. 29 (1). 12-24.

Ginting, I. 2004. Proses Kalsinasi Batu Gamping dari Kalimantan Timur Skala Laboratorium. *Metalurgi*. 19 (1). 1-4.

- Hakim, A. dan Mukhtadi, E. 2017. Pembuatan Minyak Biji Karet dari Biji Karet dengan Menggunakan Metode Screw Pressing: Analisis Produk Penghitungan Rendemen, Penentuan Kadar Air Minyak, Analisa Densitas, Analisa Viskositas, Analisa Angka Asam dan Analisa Angka Penyabunan. *Metana*. 13 (1). 13-22.
- Hambali, E., Siti, M., Armansyah, H., Abdul, W., and Roy, H. 2007. *Teknologi Bioenergi*. PT. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Haryono., Yuliyati, Y.B., Noviyanti, A.R., Rizal, M., dan Nurjanah, S. 2020. Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Kemiri Sunan dengan Katalis Heterogen Silika Terimpregnasi Kalsium Oksida (CaO/SiO₂). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 38 (1). 1-68.
- Hidayat, R., Mulyadi, E., dan Soemargono. 2009. *Optimasi Pengolahan Pasca Panen Biji Karet Menjadi Minyak Biji Karet In Prosiding Seminar Nasional Revitalisasi Teknologi Berwawasan Lingkungan*. LPPM UPN Veteran Jawa Timur. Surabaya.
- Highina, B.K., Bugaje, I.M., and Umar, B. 2011. Biodiesel Production from *Jatropha Causus* Oil in a Batch Reactor Using Zinc Oxide as Catalyst. *Journal University of Maiduguri*. 2 (9). 146-149.
- Ibrahim, H., Ahmed, A.S., Bugaje, I.M., and Ugwumma, C.D. 2013. Synthesis of Bulk Calcium Oxide (CaO). *Catalyst and Its Efficacy for Biodiesel Production*. 3 (12). 90-93.
- Iskandar, N., Widayat, W., Sulardjaka, S., Syaiful, S., Fuadi, F., and Handayani, F. 2023. Effect of Temperature and Tapioca Flour Concentration on Manufacture of CaO-SiO₂ Heterogeneous Catalyst Pellets Made from Brick Burning Ash for Biodiesel Synthesis. *Catalyst*. 13 (945). 1-17.
- Jazie, A.A, Pramanik, H., and Sinha, A.S.K. 2013. Egg Shell as Eco-Friendly Iesel Production. *International Journal of Sustainable Development and Green Economics (LISDGE) Catalvst For Transesteritication Of Rapesced Oil*. 16 (1). 1166-1175.
- Julinawati, Sarah, N., dan Rossy, A.S. 2015. *Karakterisasi Batuan Aceh Menggunakan Scanning Electron Microscope -Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) dan X-Ray Diffraction (XRD)*. Balai Pengujian dan Identifikasi

Barang (BPIB). Direktorat Jenderal Bea dan Cukai. Jakarta.

Jyoti, G., Keshav, A., Anandkumar, J., and Bhoi, S. 2018. Homogeneous and Heterogeneous Catalyzed Esterification of Acrylic Acid with Ethanol: Reaction Kinetics and Modeling. *International Journal of Chemical Kinetics*. 50 (5). 370-380.

Ketcong, A., Meechan, W., Naree, T., Seneevong, I., Winitorn, A., Butnark, S., and Ngamcharussrivichai, C. 2014. Production of Fatty Acid Methyl Esters over a Limestone-Derived Heterogeneous Catalyst in a Fixed-Bed Reactor. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 20 (4). 1665-1671.

Khazaai, S.N.M., Yiting, S., Rahim, M.H.A., Ibrahim, M.L., and Maniam, G.P. 2021. Application of Waste Catalyst, CaO-SiO₂ in the Transesterification of Palm Oil. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 25 (3). 490-497.

Kirboga, S. and Oner, M. 2013. Effect of the Experimental Parameters on Calcium Carbonate Precipitation. *Chemical Engineering Transactions*. 32 (1). 2119-2124.

Kriswarini, R., Anggraini, D., dan Noviarthy. 2010. *Validasi Metode Pengukuran Isotop ¹³⁷Cs Menggunakan Spektrometer Gamma*. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir. BATAN.

Kumar, T.A., Kumar, A. and Raheman, H. 2007. Biodiesel Production from Jatropha Oil (*Jatropha Curcas*) with High Free Fatty Acids: an Optimized Process. *Biomass and Bioenergy*. 31 (8). 569-575.

Larry, D.H. 2001. *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy in Handbook of Analytical Methods for Materials*. Materials Evaluation and Engineering. Plymouth.

Lestari, Linda, Malino, M.B., dan Lapanporo, B.P. 2017. Analisis Mekanisme Interaksi Antara Asam Klorida dengan Senyawa Rb₂O, K₂O, CaO, dan P₂O₅ dalam Abu Kerak Boiler Berdasarkan Tinjauan Beda Energi Potensial Orbital. *Prisma Fisika*. 5 (3). 88-93.

Lubis, R. 2012. *Sintesis dan Karakterisasi Pertumbuhan Nanopartikel ZnO dengan Metode Sol-Gel*. Universitas Negeri Medan. Medan.

- Lukman, M., Yudyanto, dan Hartatiek. 2012. Sintesis Biomaterial Komposit CaO-SiO₂ Berbasis Material Alam (Batu Kapur Dan Pasir Kuarsa) dengan Variasi Suhu Pemanasan dan Pengaruhnya terhadap Porositas, Kekerasan dan Mikrostruktur. *Journal Sains*. 2 (1). 1-7.
- Mardawati, E., Hidayat, M.S., Rahmah, D.M., dan Rosalinda. 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*. 1 (1). 46-60.
- Miskah, S., Mocksin, R., Reno, dan Sridawati. 2008. *Pemanfaatan Minyak Goreng Bekas sebagai Bahan Baku Metil Ester*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Sumatera Selatan.
- Moholkar, V.S., Hanif, A.C., Partha, P.G., and Ritesh, S.M. 2013. Ultrasonic Biodiesel Synthesis from Crude Jatropha curcas Oil with Heterogeneous Base Catalysts: Mechanistic Insight and Statistical Optimization. *Ultrasonics Sonochemistry*. 21 (1). 1050-1064.
- Mourhly, A., Khachani, M., El, A.H., Kacimi, M., Halim, M., and Arsalane, S. 2015. The Synthesis and Characterization of Low-Cost Mesoporous Silica SiO₂ from Local Pumice Rock. *Nanomaterials and Nanotechnology*. 5 (35). 1-7.
- Mukhtar, M., Arninda, A., dan Diana, S. 2022. Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Persen Recovery Nikel Laterit pada Proses Pelindian. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri IX*. 1 (1). 185-188.
- Naderi, M. 2015. Chapter Fourteen. Surface Area: Brunauer-Emmett-Teller (BET). Surface Measurement Systems. *Ltd., Alperton*. 1 (1). 585-608.
- Niju, S., Sheriffa, M.B.K.M., and Anantharaman, N. 2016. Enhancement of Biodiesel Synthesis Over Highly Active CaO Derived from Natural White Bivalve Clam Shell Enhancement of Biodiesel Synthesis Over Highly Active CaO. *Arabian Journal of Chemistry*. 9 (5). 633-639.
- Nurfadillah. 2010. *Pemanfaatan dan Uji Kualitas Biodiesel dari Minyak Jelantah*. (Skripsi). Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin Makassar. Makassar.

- Nurjannah. 2014. *Transesterifikasi Minyak Jarak dengan Metanol dan Katalis Heterogen Berbasis Silika Sekam Padi (MgO-SiO)*. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung.
- Nurwijayadi. 1998. *Praktek Luas Muka*. Batan.Yogyakarta.
- Oh, S., Hyun, C.U., and Park, H.D. 2017. Near-Infrared Spectroscopy of Limestone Ore for CaO Estimation under Dry and Wet Conditions. *Minerals*. 7 (10). 1-11.
- Ong, H.C., Silitonga, A.S., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Chong, W.T., and Boosroh, M.H. 2013. Production and Comparative Fuel Properties of Biodiesel from Non-Edible Oils: *Jatropha Curcas*, *Sterculia Foetida* and *Ceiba Pentandra*. *Energy Conversion and Management*. 73 (1). 245-55.
- Pandiangan, K. D., Arief, S., Jamarun, N., and Simanjuntak, W. 2017. Synthesis of Zeolite-X from Rice Husk Silica and Aluminum Metal as a Catalyst for Transesterification of Palm Oil. *Journal of Materials and Environmental Science*. 8 (5). 1979-1802.
- Pandiangan, K. D., and Simanjuntak, W. 2013. Transesterification of Coconut Oil Using Dimethyl Carbonate and TiO₂/SiO₂ Heterogeneous Catalyst. *Indonesian Journal of Chemistry*. 13 (1). 47-52. 2891-2898.
- Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Jamarun, N., and Arief, S. 2021. The Use of MgO/SiO₂ as Catalyst for Transesterification of Rubber Seed Oil With Different Alcohols. *Journal of Physics: Conference Series*. 1751 (1). 1-7.
- Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Rilyanti, M., Jamarun, N. and Arief, S. 2017. Influence of Kinetic Variables on Rubber Seed Oil Transesterification Using Bifunctional Catalyst CaO-MgO/SiO₂. *Oriental Journal of Chemistry*. 33 (6). 2891-2898.
- Pandiangan, K.D., Irwan, S.G., Rilyanti, M., Sonny, W., Dian, A., Syukri, A., and Novesar, J. 2008. Karakteristik Keasaman Katalis Berbasis Silika Sekam Padi yang Diperoleh dengan Teknik Sol-Gel. In *Prosiding Seminar Sains dan Teknologi (SATEK II) Universitas Lampung*. 37 (1). 47-52.
- Pandiangan, K.D., Simanjuntak, W., Irwan, G.S. dan Sascori, S. 2010.

Pendahuluan Transesterifikasi Minyak Kelapa dengan Katalis Ti-Silika dan Ni-Silika sebagai Langkah Awal Pengembangan Teknologi Produksi Biodiesel dengan Katalis Heterogen. In *Prosiding Seminar Sains dan Teknologi III Universitas Lampung*.

Pandiangan, K.D., Jamarun, N., Arief, S., Simanjuntak, W., and Rilyanti, M. 2016. The Effect of Calcination Temperatures on the Activity of CaO and CaO/SiO₂ Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Rubber Seed Oil in the Presence of Coconut Oil as a Co-Reactant. *Oriental Journal of Chemistry*. 32 (6). 3021–3026.

Pandiangan, K.D., Simanjuntak, W., Ilim, I., Satria, H., and Jamarun, N. 2019. Catalytic Performance of CaO/SiO₂ Prepared from Local Limestone Industry and Rice Husk Silica. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*. 8 (2). 170-178.

Qoniah, I. dan Prasetyo, D. 2011. Penggunaan Cangkang Bekicot sebagai Katalis Untuk Reaksi Transesterifikasi Refined Palm Oil. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Rahayu, M. 2005. Prospek Pengembangan Biofuel sebagai Substansi Bahan Bakar Minyak. *Teknologi Proses Produksi Biodiesel*. 1 (1). 17-28.

Rakhmawaty, E.D., Rostika, A.N., dan Janati, D. 2015. Sintesis Silika Metode Sol-Gel sebagai Penyangga Fotokatalis TiO₂ terhadap Penurunan Kadar Kromium dan Besi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 17 (2). 82-89.

Rasyidu, A.R. and Nurhayati. 2022. Sintesis dan Karakterisasi Katalis CaO-SiO₂ Pasir Kuarsa untuk Produksi Biodiesel. *Material and Energy*. 1 (1). 1-6.

Reyero, I., Arzamendi, G., Zabala, S., and Gandía, L.M. 2015. Kinetics of the NaOH-Catalyzed Transesterification of Sunflower Oil with Ethanol to Produce Biodiesel. *Fuel Processing Technology*. 129 (1). 147-155.

Ridha, M. dan Darminto, D. 2016. Analisis Densitas, Porositas, dan Struktur Mikro Batu Apung Lombok dengan Variasi Lokasi dan Kedalaman. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 12 (3). 124-130.

Samart, C., Chaiya, C., and Reubroycharoen, P. 2010. Biodiesel Production by

Methanolysis of Soybean Oil Using Calcium Supported on Mesoporous Silica Catalyst. *Energy Conversion and Management*. 51 (7). 1428-1431.

Setyawardhani, D. dan Distantina, S.A. 2010. Penggeseran Reaksi Kesetimbangan Hidrolisis Minyak dengan Pengambilan Gliserol untuk Memperoleh Asam Lemak Jenuh dari Minyak Biji Karet. In *Seminar Nasional Teknik Kimia "Perjuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. 12 (2). 63-67.

Sharma, Y.C., Bhaskar, S., and John, K. 2010. Latest Developments on Application of Heterogeneous Basic Catalysts for an Efficient and Eco Friendly Synthesis of Biodiesel: A Review. *Fuel* 90 (1). 1309-1324.

Simanjuntak, W., Sembiring, S., Pandiangan, K.D., Syani, F., and Situmeang, R. 2016. The Use of Liquid Smoke as a Substitute for Nitric Acid for Extraction of Amorphous Silica from Rice Husk through Sol-Gel Route. *Oriental Journal of Chemistry*. 32 (4). 2079-2085.

Sing, K.S.W. 1982. Reporting Physisorption Data for Gas / Solid Systems with Special Reference to the Determination of S. *Pure & Appl. Chem.* 54 (11). 2201-2218.

Singh, L.P., Agarwal, S.K., Bhattacharyya, Sharma, U., and Ahalawat, S. 2011. Preparation of Silica Nanoparticles and Its Beneficial Role in Cementitious Materials. *Nanometer Nanotechnol.* 1 (1). 44-51.

Tarigan, S. 2007. *Aktivitas Katalis Cr/Zeolit dalam Reaksi Konversi Katalitik Fenol dan Metil Isobutil Keton*. LIPI. Jakarta.

Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A.V., Olivier, J.P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., and Sing, K.S.W. 2015. Physisorption of Gases, with Special Reference to the Evaluation of Surface Area and Pore Size Distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*. 87 (9–10). 1051-1069.

Trianasari, P., Manurung, dan Karo-karo, P. 2017. Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika (SiO₂) sebagai Hasil Ekstraksi Batu Apung (Pumice). *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*. 5 (2). 179-186.

- Trivana, L., Sugiarti, S., dan Rohacti, E. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na_2SiO_3) dari Sekam Padi. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. 7 (2). 66-75.
- Wendi, Cuaca, V., dan Taslim. 2015. Pengaruh Suhu Reaksi dan Jumlah Katalis pada Pembuatan Biodiesel dari Limbah Lemak Sapi dengan Menggunakan Katalis Heterogen CaO dari Kulit Telur Ayam. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 4 (1). 35-41.
- Widianto, T.N., dan Utomo, B.S.B. 2010. Pemanfaatan Minyak Ikan untuk Produksi Biodiesel. *Squalen*. 5 (1). 15-22.
- Widiarti, N., Amalia, L.S., Wijayati, N., Fitriani, E.R., Harjito, H., Budi, S.W., Prasetyoko, D., and Suprpto, S. 2017. Synthesis of $\text{SrO} \cdot \text{SiO}_2$ Catalyst and Its Application in the Transesterification Reactions of Soybean Oil. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering. Catalysis*. 12 (2). 299-305.
- Widyastuti, L. 2007. *Reaksi Metanolisis Biji Jarak Menjadi Metil Ester sebagai Bahan Bakar*. (Skripsi). Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Witoon, T., Bumrungsalee, S., Vathavanichkul, P., Palitsakun, S., Saisriyoot, M., and Faungnawakij, K. 2014. Biodiesel Production from Transesterification of Palm Oil with Methanol over CaO Supported on Bimodal Meso-Macroporous Silica Catalyst. *Bioresource Technology*. 156 (1). 329-334.
- Wu, H., Zhang, J., Wei, Q., Zheng, J., and Zhang, J. 2013. Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel Using Zeolite Supported CaO as Strong Base Catalysts. *Fuel Processing Technology*. 109 (1). 13-18.
- Zabeti, M., Wan, M.A.W.D., and Kheireddine, M.A. 2009. Activity of Solid Catalysts for Biodiesel Production: A Review. *Fuel Processing Technology*. 90 (6). 770-777.
- Zahan, K., and Kano, M. 2018. Biodiesel Production from Palm Oil, Its By-Products, and Mill Effluent: A Review. *Energies*. 11 (8). 2132.
- Zdujic, M., Lukic, I., Kesic, Z., Jankovic-Castvan, I., Markovic, S., Jovalekic, C., and Skala, D. 2019. Synthesis of $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ Compounds and Their Testing as Heterogeneous Catalysts for Transesterification of Sunflower Oil. *Advanced*

Powder Technology. 30 (1). 1141-1150.