

**SINTESIS KATALIS CaO/KARBON AMPAS BENGGUANG
(*Pachyrhizus erosus*) TERSULFONASI UNTUK PRODUKSI
BIODISEL DARI MINYAK JELANTAH**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Persyaratan guna Memperoleh Gelar
Sarjana Sains (S.Si)*



**RANDY LESMANA PUTRA
NIM/TM: 17036135/2017**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021**

PERSETUJUAN SKRIPSI

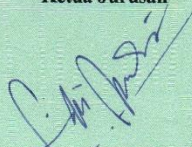
SINTESIS KATALIS CaO/KARBON AMPAS BENGKUANG (*Pachyrhizus erosus*) TERSULFONASI UNTUK PRODUKSI BIODISEL DARI MINYAK JELANTAH

Nama : Randy Lesmana Putra
NIM : 17036135
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 21 Juni 2021

Mengetahui:

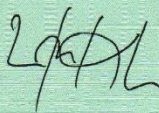
Ketua Jurusan



Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19800819 200912 2 002

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing



Umar Kalmar Nizar, M.Si, Ph.D
NIP. 19770311 200312 1 003

PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

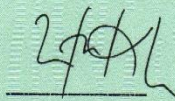
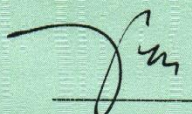
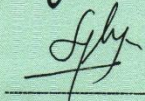
Nama : Randy Lesmana Putra
NIM : 17036135
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

SINTESIS KATALIS CaO/KARBON AMPAS BENGGUANG (*Pachyrhizus erosus*) TERSULFONASI UNTUK PRODUKSI BIODISEL DARI MINYAK JELANTAH

*Dinyatakan Lulus Setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Kimia Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang*

Padang, 21 Juni 2021

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D	
Anggota	: Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D	
Anggota	: Dra. Sri Benti Etika, M.Si	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Randy Lesmana Putra
NIM : 17036135
Tempat/Tanggal lahir : Pekanbaru, 14 Oktober 1998
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Sintesis Katalis CaO/Karbon Ampas Bengkuang
(*Pachyrhizus erosus*) Tersulfonasi untuk Produksi
Biodisel dari Minyak Jelantah

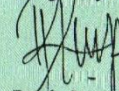
Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani Asli oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi

Padang, 21 Juni 2021

Yang menyatakan



Randy Lesmana Putra
NIM : 17036135

Sintesis Komposit CaO-Karbon sebagai katalis untuk Produksi Biodiesel

Randy Lesmana Putra

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis katalis komposit antara CaO dan karbon tersulfonasi, mengkarakterisasi katalis, menguji sifat fisika biodiesel dan menghitung yield biodiesel yang dihasilkan. Katalis yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD. Secara umum data FTIR dari katalis komposit menunjukkan bahwa pada frekuensi vibrasi $4000-3000\text{ cm}^{-1}$ mengalami penurunan intensitas dari katalis CaO sementara itu pada frekuensi vibrasi $1700-600\text{ cm}^{-1}$ mengalami frekuensi vibrasi yang hampir sama dengan karbon ampas bengkuang tersulfonasi. Karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa adanya perbedaan puncak yang dihasilkan antara CaO dan katalis komposit. Pada pengujian densitas, laju alir dan bilangan asam, diperoleh nilai densitas dan laju alir yang optimum pada komposit katalis dengan komposisi 1/1. Pada bilangan asam Katalis CaO memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan katalis komposit karena adanya leaching pada sulfonat saat proses reaksi. Nilai konversi yield biodiesel tertinggi didapatkan pada katalis komposit dengan perbandingan 1/1.

Kata Kunci: Komposit, Biodiesel, CaO, dan Karbon.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis Katalis CaO/Karbon Ampas Bengkuang (*Pachyrhizus erosus*) Tersulfonasi untuk Produksi Biodisel dari Minyak Jelantah”**. Shalawat beserta salam untuk nabi tauladan kita, Muhammad SAW yang telah memberikan tauladan dalam setiap aktivitas yang kita lalui.

Skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan, dan masukan yang sangat berharga dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
2. Ibu Hesty Parbuntari, S.Pd., M.Sc sebagai Dosen Pembimbing Akademik.
3. Bapak Budhi Oktavia, M.Si, Ph.D dan Ibu Dra. Sri Benti Etika, M.Si sebagai Dosen Pembahas
4. Bapak dan Ibu staf pengajar serta seluruh staf akademik dan non akademik di Jurusan Kimia FMIPA UNP.
5. Orang tua penulis yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Teman-teman kimia angkatan 2017 yang telah membantu dalam pembuatan skripsi ini.

7. Semua pihak terkait yang telah ikut berkontribusi dalam skripsi ini

Semoga rahmat dan kasih sayang Allah SWT selalu tercurah pada kita semua serta usaha dan kerja kita bernilai ibadah di hadapan Allah SWT, Amin Ya Rabbal 'Alamin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan dan saran dari pembaca agar skripsi ini bermanfaat dikemudian harinya

Padang, 04 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah	5
1.4. Rumusan Masalah.....	5
1.5. Tujuan Penelitian	6
1.6. Manfaat Penelitian	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Biodisel	7
2.2. Minyak Jelantah (<i>Waste Cooking Oil</i>).....	11
2.3. Katalis	12
2.3.1. Katalis Homogen.....	13
2.3.2. Katalis Heterogen.....	14
2.4. Bengkuang.....	15
2.5. Cangkang Telur Ayam.....	16
2.6. Kalsinasi.....	17
2.7. Sulfasi/Sulfonasi.....	17
2.8. Karakterisasi Katalis	18
2.8.1. FT-IR	18
2.8.2. XRD.....	19
2.8.3. TGA.....	20
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2. Variabel Penelitian.....	22
3.3. Alat dan Bahan	22
3.3.1. Alat	22

3.3.2.	Bahan.....	22
3.4.	Prosedur Kerja.....	23
3.4.1.	Preparasi Katalis.....	23
3.5.	Karakterisasi dan Analisis Sampel	25
3.5.1.	FT-IR (<i>Fourier Transform Infrared</i>).....	25
3.5.2.	XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	25
3.5.3.	TGA (<i>Thermogravimetric Analysis</i>)	25
3.6.	Aplikasi Katalis pada Minyak Jelantah dalam Produksi Biodisel	25
3.7.	Uji Sifat Biodisel	26
3.8.	Desain Penelitian	27
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		28
4.1.	Sifat Fisikokimia Katalis.....	28
4.1.1.	Analisis Termal dari Ampas Bengkuang dan Cangkang Telur.....	28
4.1.2.	Karakterisasi FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>)	31
4.1.3.	Karakterisasi XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	36
4.2.	Uji Sifat Fisikokimia Biodisel	38
4.2.1.	Densitas.....	38
4.2.2.	Laju Alir.....	40
4.2.3.	Bilangan Asam.....	41
4.3.	Persen Yield Biodisel.....	42
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		44
5.1.	Kesimpulan.....	44
5.2.	Saran	44
DAFTAR PUSTAKA.....		45
DAFTAR LAMPIRAN		50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Reaksi Esterifikasi	7
Gambar 2. Reaksi Trans-esterifikasi	8
Gambar 3. Jenis Katalis.....	13
Gambar 4. Buah Bengkuang.....	16
Gambar 5. FTIR Karbon Ampas Bengkuang	19
Gambar 6. Pola XRD dari katalis HTC dan HTC-S	20
Gambar 7. Profil TGA-DTA Cangkang Telur Ayam	21
Gambar 8. Spektra TGA Sampel Ampas Bengkuang.	29
Gambar 9. Spektra DTA Sampel Ampas Bengkuang.....	30
Gambar 10. Grafik TGA-DTA CTA.....	31
Gambar 11. FTIR Cangkang Telur ayam (CTA), CaO Komersil (CaOK) dan CaO hasil kalsinasi (CaO).....	33
Gambar 12. FTIR Karbon Ampas Bengkuang Sebelum Sulfonasi (KAB) dan Sesudah Sulfonasi (KAB-S).....	35
Gambar 13. FTIR (CaO1/KABS1)-M, (CaO1/KABS0.5)-M, (CaO0.5/KABS1)-M.	36
Gambar 14. XRD CaO, KAB-S dan (CaO1/KABS1)-M.....	37
Gambar 15. Produksi Biodisel.....	38
Gambar 16. Densitas Minyak Jelantah dan Biodisel	39
Gambar 17. Laju Alir Minyak Jelantah dan Biodisel	41
Gambar 18. Bilangan Asam Minyak Jelantah dan Biodisel	42
Gambar 19. Persen Yield Biodisel dari Berbagai Katalis	43

DAFTAR TABEL

Tabel. 1. Sifat-sifat bahan bakar dari biodiesel	11
Tabel. 2. Sifat Fisika dan Kimia Minyak Jelantah.....	11
Tabel. 3. Daftar suhu, persentase dan jenis minyak untuk beberapa katalis asam	15

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembentukan Karbon Ampas Bengkuang Tersulfonasi.....	50
Lampiran 2. Pembuatan CaO dari Cangkang Telur Ayam	50
Lampiran 3. Campuran CaO dan Karbon Ampas Bengkuang Tersulfonasi	51
Lampiran 4. Aplikasi Katalis dan Minyak Jelantah Untuk Produksi Biodisel.....	51
Lampiran 5. Aplikasi Katalis dan Minyak Jelantah Untuk Produksi Biodisel.....	52
Lampiran 6. Aplikasi Katalis dan Minyak Jelantah Untuk Produksi Biodisel.....	53
Lampiran 7. Penentuan Laju Alir	53
Lampiran 8. Karakterisasi Katalis	54
Lampiran 9. Perhitungan Densitas, Laju Alir, Bilangan Asam dan Yield Biodisel ..	58
Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian.....	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permintaan akan energi terus meningkat seiring meningkatnya populasi penduduk dunia dan industri. Sumber energi utama umumnya berasal dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam. Oleh karena sifatnya yang tidak terbarukan, sumber energi ini semakin berkurang dari hari ke hari. Baik energi maupun kerusakan lingkungan merupakan krisis serius yang disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil. Hal ini dapat dikurangi dengan mencari sumber energi alternatif dari sumber terbarukan dengan metode berkelanjutan dan ramah lingkungan seperti biodiesel (Sahar et al., 2018).

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi atau esterifikasi. Reaksi transesterifikasi berlangsung antara trigliserida dari minyak dengan alkohol rantai pendek (methanol), sedangkan reaksi esterifikasi berlangsung antara asam lemak bebas dari minyak atau lemak dengan alkohol (García-Martín et al., 2018).

Minyak yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biodiesel terdiri dari minyak yang dapat dikonsumsi dan minyak yang tidak dapat dikonsumsi. Minyak yang dapat dikonsumsi antara lain minyak jagung, minyak sawit dan minyak kelapa. Kelemahan dari penggunaan minyak yang dapat dikonsumsi adalah timbul persaingan antara penggunaan untuk konsumsi atau bahan bakar. Hal ini dapat menyebabkan meningkatnya harga dari minyak tersebut. Upaya untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan minyak yang tidak dapat dikonsumsi,

minyak tersebut dapat berupa limbah padat PFAD (*Palm Fatty Acid Distillate*), WCO (*Waste Cooking Oil*) (Abdul Kapor et al., 2017).

Minyak jelantah ataupun yang disebut WCO sangat menjanjikan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Hal ini disebabkan WCO mengandung asam palmitat (40-46%), asam oleat (30-45%), asam linoleat (7-11%). Selain itu, minyak ini memiliki harga yang murah dan mudah diperoleh dari berbagai tempat, seperti rumah tangga, hotel, dan industri-industri makanan. Pemilihan minyak jelantah sebagai bahan pembuatan biodiesel juga dapat mengatasi pencemaran lingkungan akibat kandungan asam lemak bebas pada minyak ini (García-Martín et al., 2018).

Reaksi trans-esterifikasi dan esterifikasi merupakan reaksi kesetimbangan yang lambat sehingga membutuhkan katalis untuk mempercepat terbentuknya produk (Syazwani et al., 2019). Berdasarkan fasanya katalis terdiri dari katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen bercampur dengan produk yang dihasilkan sehingga sulit dipisahkan. Katalis heterogen berbeda fasa dengan produk yang dihasilkan sehingga lebih mudah dipisahkan dan lebih berkembang dari katalis homogen (Souza et al., 2018). Seperti halnya katalis homogen, katalis heterogen terdiri dari katalis asam dan basa padat.

Penggunaan katalis heterogen asam atau basa padat tergantung dari bahan baku minyak yang digunakan. Jika minyak yang digunakan banyak mengandung trigliserida seperti minyak nabati maka dibutuhkan katalis basa. Minyak yang mengandung asam lemak bebas yang tinggi seperti PFAD lebih sesuai dikatalisis oleh katalis asam untuk menghasilkan biodiesel. Minyak jelantah banyak mengandung trigliserida sehingga diperlukan katalis basa. Namun demikian, akibat hidrolisis dan oksidasi selama pemanasan menyebabkan sebagian trigliserida

terurai menjadi asam lemak bebas sehingga perlu didukung dengan katalis asam (Sundari et al., 2019).

Katalis asam dan basa padat dapat disintesis dengan memanfaatkan limbah organik dari kearifan lokal. Salah satu contoh katalis basa heterogen yang dapat dimanfaatkan dalam pengolahan minyak jelantah ialah dari kulit cangkang telur ayam. Kulit cangkang telur ayam banyak mengandung CaCO_3 yang dapat diubah menjadi CaO melalui proses dekomposisi. Sedangkan katalis asam heterogen dapat dibuat dari pengolahan limbah organik menjadi karbon tersulfonasi (Sundari et al., 2019).

Cangkang telur ayam merupakan limbah padat yang belum banyak dimanfaatkan. Kulit telur ayam mengandung kalsium karbonat (94%), kalsium fosfat (1%), senyawa organik (4%), dan magnesium karbonat (1%). Kandungan kalsium yang tinggi pada kulit telur dapat dijadikan sebagai sumber CaO melalui proses pemanasan pada suhu tinggi. Sebagai katalis, CaO merupakan katalis basa padat yang telah dilaporkan dalam reaksi trans-esterifikasi untuk mempercepat reaksi dalam pembuatan biodiesel terhadap minyak yang banyak mengandung trigliserida (Mohadi et al., 2016).

Katalis asam padat berbasis karbon tersulfonasi dianggap sebagai katalis ideal untuk banyak reaksi karena stabilitas termal dan sifat mekanisnya. Katalis ini dapat dihasilkan dari karbonisasi limbah organik yang mengandung sukrosa, pati, selulosa dan lignin serta dilanjutkan dengan proses sulfonasi. Beberapa contoh katalis karbon tersulfonasi dapat diproduksi dari kulit kakao (Lokman, Rashid, Taufiq-Yap, et al., 2015).

Bengkuang (*Pachyrhizus erosus*) adalah tumbuhan polong, kaya akan serat, vitamin, karbohidrat, dan mineral. Tumbuhan ini mengandung banyak sumber karbohidrat seperti selulosa, lignin, pektin, pati dan hemiselulosa.. Bengkuang dimanfaatkan sebagai sumber buah-buah segar dan jus buah. Jus buah menghasilkan ampas bengkuang yang masih mengandung pati. Oleh sebab itu, ampas bengkuang tersebut memiliki potensi untuk dijadikan sebagai sumber karbon (Ramos-de-la-Peña et al., 2012).

Berdasarkan permasalahan diatas akan dilakukan sintesis katalis CaO/karbon tersulfonasi lalu katalis akan dikarakterisasi dengan FTIR, XRD, dan TGA, serta akan di aplikasikan dalam produksi biodiesel dari minyak jelantah. Biodiesel yang terbentuk akan dilakukan uji densitas, viskositas, bilangan asam, dan dihitung persen konversi.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Menipisnya bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbarui dan meningkatnya penggunaan bahan bakar menimbulkan upaya untuk mencari sumber energi alternatif yang terbarukan.
2. Biodiesel merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat diproduksi dari limbah organik yang mengandung trigliserida atau asam lemak bebas
3. Minyak jelantah merupakan sumber minyak yang menjanjikan untuk dikembangkan di Indonesia, tergantung dari katalis yang digunakan.

4. Katalis CaO dapat disintetis dari kulit cangkang telur ayam dengan proses kalsinasi.
5. Ampas bengkuang mengandung pati, sehingga bisa digunakan sebagai katalis karbon tersulfonasi dan dikompositkan dengan CaO untuk menghalangi pengaruh asam lemak bebas.

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus, maka perlu dilakukan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Katalis disintetis menggunakan bahan ampas bengkuang dan kulit cangkang telur dengan melakukan variasi pada preparasi sampel (karbon ampas bengkuang tersulfonasi, CaO, dan konsentrasi campuran CaO/KAB-S sebanyak 1/1, 1/0,5 dan 0,5/1).
2. Karakterisasi katalis dilakukan dengan menggunakan instrumen FTIR, XRD, dan TGA.
3. Aplikasi katalis dilakukan melalui reaksi trans-esterifikasi dalam produksi biodiesel menggunakan minyak jelantah dan metanol.
4. Pengujian sifat-sifat biodiesel dibatasi pada uji densitas, laju alir, bilangan asam dan dihitung persen yield biodisel.

1.4. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat fisikokimia dari variasi preparasi katalis komposit CaO dan karbon ampas bengkuang tersulfonasi

2. Bagaimana sifat-sifat biodiesel melalui reaksi trans-esterifikasi antara minyak jelantah dan metanol menggunakan variasi preparasi katalis komposit CaO dan karbon ampas bengkuang tersulfonasi

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjelaskan sifat-sifat fisikokimia dari variasi preparasi katalis komposit CaO dan karbon ampas bengkuang tersulfonasi
2. Menjelaskan bagaimana sifat-sifat biodiesel melalui reaksi trans-esterifikasi antara minyak jelantah dan metanol menggunakan variasi preparasi katalis komposit CaO dan karbon ampas bengkuang tersulfonasi

1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian

1. Memberikan informasi dan dapat mengetahui serta memahami sifat-sifat fisikokimia dari variasi preparasi katalis komposit CaO dan karbon ampas bengkuang tersulfonasi
2. Memberikan informasi dan dapat mengetahui serta memahami aktivitas katalitik variasi preparasi katalis komposit CaO dan karbon ampas bengkuang tersulfonasi

BAB II

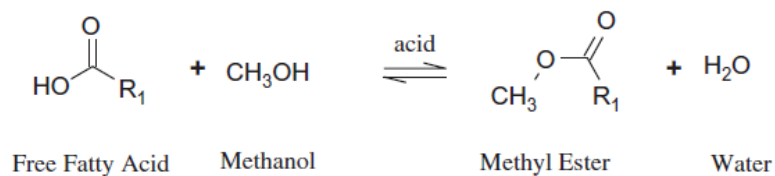
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biodiesel

Biodiesel didefinisikan sebagai monoalkyl ester dari asam lemak rantai panjang yang berasal dari minyak alam dan lemak tumbuhan dan hewan, merupakan salah satu alternatif bahan bakar fosil. Biodiesel telah menarik perhatian luas di dunia karena sifatnya yang terbarukan, dapat terurai secara hayati, tidak beracun, dan ramah lingkungan (Krishnaprabu, 2019).

Biodiesel atau yang secara kimia dikenal sebagai fatty acid methyl ester (FAME) dapat berasal dari reaksi kimia bahan baku baik minyak nabati atau lemak hewani dan alkohol dengan adanya katalis. Esterifikasi asam lemak bebas dan trigliserida transesterifikasi adalah dua reaksi utama untuk mengubah sumber lipid menjadi biodiesel (Abdullah et al., 2017).

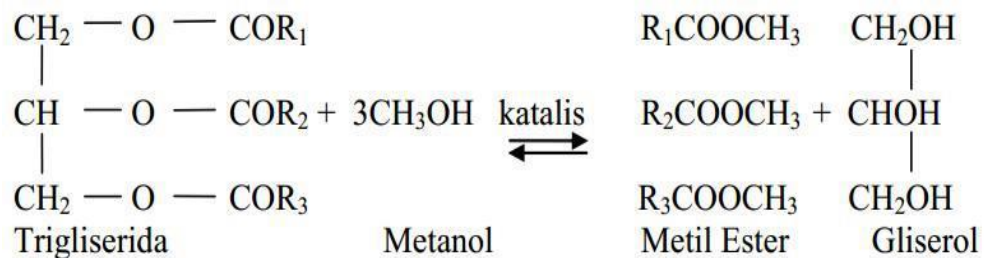
Esterifikasi adalah metode produksi biodiesel menggunakan asam lemak bebas direaksikan dengan alkohol, dengan bantuan katalis menghasilkan methyl ester dan air sebagai produk sampingan (Lokman, Rashid, & Taufiq-Yap, 2015).



Gambar 1. Reaksi Esterifikasi (Lokman, Rashid, & Taufiq-Yap, 2015)

Dalam proses produksi biodiesel, transesterifikasi adalah reaksi kimia antara trigliserida dan alkohol dengan adanya katalis untuk menghasilkan monoester.

Molekul trigliserida rantai panjang dan bercabang diubah menjadi monoester dan gliserol



Gambar 2. Reaksi Trans-esterifikasi (Endut et al., 2017)

Proses transesterifikasi terdiri dari urutan tiga reaksi reversibel berurutan, yang meliputi konversi trigliserida menjadi digliserida, diikuti dengan konversi digliserida menjadi monogliserida. diubah menjadi gliserol dan menghasilkan satu molekul ester di setiap langkah. Beberapa aspek, termasuk jenis katalis (basa atau asam), rasio molar alkohol/minyak nabati, suhu, kemurnian reaktan (terutama kandungan air), dan kandungan asam lemak bebas, memiliki pengaruh terhadap jalannya transesterifikasi. Rasio molar alkohol / minyak nabati adalah salah satu dari faktor utama yang mempengaruhi transesterifikasi. Alkohol yang berlebihan mendukung pembentukan produk. Di sisi lain, jumlah alkohol yang berlebihan membuat pemulihan gliserol sulit. Rasio molar alkohol yang tinggi terhadap nabati minyak mengganggu pemisahan gliserin, karena terjadi peningkatan kelarutan. Ketika gliserin tetap dalam larutan, membantu mendorong kesetimbangan kembali ke kiri, menurunkan hasil ester. Jadi, rasio alkohol / minyak yang ideal harus dibangun secara empiris, dengan mempertimbangkan setiap proses individu. pada proses transesterifikasi yang berbeda (Kaushik et al., 2008).

Sifat-sifat biodiesel:

1. Densitas

Densitas adalah rasio berat per satuan volume. Densitas merupakan salah satu sifat biodiesel yang digunakan untuk mengetahui perkiraan jumlah bahan bakar yang disalurkan oleh sistem injeksi untuk pembakaran bahan bakar yang tepat. Karakterisasi tersebut berkaitan dengan nilai kalor dan tenaga yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan volume bahan bakar. Jika biodiesel memiliki densitas melebihi ketentuan maka akan terjadi reaksi tidak sempurna pada konversi minyak nabati. Biodiesel yang kualitasnya di bawah sebaiknya tidak digunakan untuk mesin diesel karena akan meningkatkan emisi, dan menyebabkan kerusakan pada mesin. Dari analisis semua variabel, menurut SNI 04-7182-2006 dimana densitasnya masih di kisaran 0. 850 – 0. 890 gram/cm³ (Putri et al., 2012).

2. Viskositas

Viskositas adalah pengukuran hambatan aliran suatu cairan. Viskositas diukur untuk menyelidiki perilaku aliran suatu bahan baku dan sampel biodiesel pada suhu tertentu (Ishola et al., 2020).

Viskositas yang terlalu tinggi akan membuat bahan bakar teratomisasi menjadi tetesan yang lebih besar sehingga akan mengakibatkan deposit pada mesin. Tetapi jika viskositas terlalu rendah akan memproduksi spray yang terlalu halus sehingga terbentuk daerah rich zone yang menyebabkan terjadinya pembentukan jelaga.

3. Angka Setana

Angka setana berguna dalam melihat kualitas penyalaan dan pembakaran suatu jenis bahan bakar. Angka Setana paling mempengaruhi sifat bahan bakar yang sebagian besar bertanggung jawab atas penundaan pengapian juga rasio pembakaran pra-campuran untuk pembakaran difusi dalam diesel mesin, sehingga mempengaruhi pelepasan panas dan juga dapat bertanggung jawab atas emisi polutan dan kebisingan pembakaran (Ishola et al., 2020).

4. Bilangan Iodin

Bilangan iodin adalah metoda paling umum yang digunakan untuk menentukan derajat ketidakjenuhan dalam minyak nabati/ lemak hewani/ metil ester (Adekunle et al., 2020)

5. Bilangan Asam

Konsentrasi biodiesel harus dikontrol dan dipertahankan pada tingkat yang rendah. Parameternya adalah bilangan asam, didefinisikan sebagai kuantitas dalam miligram kalium hidroksida (KOH), yang diperlukan untuk menetralkan 1.0 gram biodiesel. angka ini merupakan indikator tingkat degradasi biodiesel. Biodisel yang mengandung asam lemak bebas tingkat tinggi menyebabkan pembentukan deposit di motor, terutama di injektor bahan bakar dan juga dapat mengoksidasi tengki selama penyimpanan. Stabilitas biodiesel dipengaruhi oleh berbagai kondisi penyimpanan, seperti suhu yang berbeda paparan atmosfer dan keberadaan air, Peningkatan bilangan asam dapat dipengaruhi oleh peningkatan suhu (Aricetti & Tubino, 2012).

6. Bilangan Penyabunan

Nilai saponifikasi berbanding terbalik dengan berat molekul rata-rata asam lemak dalam fraksi minyak. Semakin pendek rata-rata rantai (C4-C12), semakin tinggi jumlah saponifikasi (Adekunle et al., 2020)

Tabel. 1. Sifat-sifat bahan bakar dari biodiesel (Kiss, 2014)

Sifat-sifat Bahan Bakar	Biodiesel
Standar bahan bakar	ASTM D6751
Komposisi bahan bakar	C ₁₂ -C ₂₂ FAME
Viskositas kinetik (mm ² /s @40o)	1.9-6.0
Gravitasi spesifik (kg/l)	0.88
Titik didih (oC)	182-338
Titik nyala (oC)	100-170
Nomor setana (kualitas pengapian)	48-65
Bilangan asam	0.8
Rasio bahan bakar	13.8
Densitas	0.85-0.89

2.2. Minyak Jelantah (*Waste Cooking Oil*)

Minyak goreng bekas merupakan hasil akhir dari penggorengan dengan menggunakan minyak goreng yang mengandung lemak nabati atau hewani yang telah diolah. Minyak goreng adalah ester gliserol yang terdiri dari berbagai jenis asam lemak esensial dan hanya larut dalam pelarut organik. Sumber asli minyak goreng adalah lemak nabati seperti minyak kelapa, minyak sawit, minyak zaitun, dan minyak kanola (Alias et al., 2018).

Beberapa sifat-fisika dan kimia dari minyak jelantah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel. 2. Sifat Fisika dan Kimia Minyak Jelantah

Sifat Fisik Minyak Jelantah	Sifat Kimia Minyak Jelantah
Warna coklat kekuning-kuningan	Hidrolisa, minyak akan diubah menjadi asam lemak bebas dan gliserol.

Berbau tengik	Proses oksidasi berlangsung bila terjadi kontak antara sejumlah oksigen dengan minyak.
Terdapat endapan	Proses hidrogenasi bertujuan untuk menumbuhkan ikatan rangkap dari rantai karbon asam lemak pada minyak.

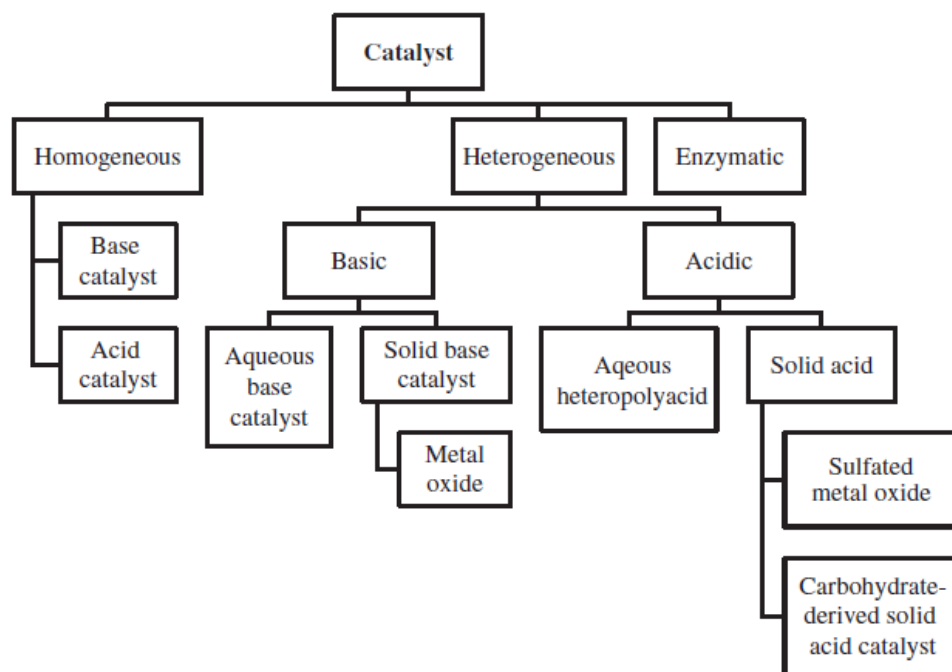
Minyak jelantah berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif, biodiesel dan mesin diesel. Semua sumber asam lemak dapat digunakan untuk menghasilkan biodiesel, sehingga lemak hewan atau tumbuhan dapat digunakan sebagai substrat untuk produksi biodiesel. Biodiesel dapat dibuat melalui proses transesterifikasi minyak nabati atau reaksi lemak hewani dengan alkohol dan dengan adanya katalis seperti kalium hidroksida. Sifat biodiesel dapat ditentukan oleh struktur komponen fatty ester yang meliputi kualitas penyalaan, pembakaran panas, aliran dingin, stabilitas oksidatif, viskositas dan pelumasan. Sifat ini memungkinkan biodiesel digunakan sebagai bahan bakar (Alias et al., 2018).

Minyak sisa penggorengan atau minyak jelantah juga telah digunakan sebagai sumber biodiesel. Biodiesel yang dihasilkan dari minyak ini adalah sebesar 99,58% dengan menggunakan katalis cangkang siput. Reaksi trans-esterefikasi untuk menghasilkan biodiesel ini berlangsung selama 7 jam pada suhu 60°C. Alkohol yang digunakan pada reaksi ini adalah metanol dengan perbandingan 6,03:1. Katalis yang digunakan adalah sebesar 2% (Talha & Sulaiman, 2016).

2.3. Katalis

Katalis adalah salah satu hal yang terpenting dalam kimia, katalis dapat mempercepat laju reaksi dengan menurunkan energi aktivasi. Katalis dapat berfungsi mempercepat laju reaksi namun tidak dapat mengubah posisi kesetimbangan dan tanpa adanya perubahan kimia diakhir reaksi (Dumbre & Choudhary, 2020).

Penggunaan katalis dalam reaksi masih terus dikembangkan. Katalis dikenal sebagai katalis asam dan katalis basa. Katalis basa diketahui bekerja lebih cepat daripada katalis asam. Oleh karena itu, penggunaan katalis alkali lebih disukai. Berdasarkan sifat katalisnya terdapat katalis yang homogen dan heterogen (Mohadi et al., 2016)



Gambar 3. Jenis Katalis (Lokman et al., 2014)

2.3.1. Katalis Homogen

Katalis asam dan basa homogen dalam produksi biodiesel memiliki fasa yang sama. Katalis basa cair pemakainnya kurang baik dalam produksi biodiesel, jika direaksikan akan terjadi reaksi saponifikasi antara minyak mengandung air dan asam lemak bebas yang akan menghasilkan sabun.

Katalis asam cair tidak sensitive terhadap FFA dan dapat mengkatalis esterifikasi dan transesterifikasi secara bersamaan. Katalis asam cair memiliki laju reaksi relatif lambat dalam reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. Asam

sulfat, asam sulfonat, asam hidroklorat, asam sulfonat organik, dan sulfat besi paling sering digunakan sebagai katalis asam reaksi trans-esterifikasi. Katalis basa yang homogen lebih disukai dan umum digunakan karena reaksi trans-esterifikasi pasangan asamnya memiliki laju yang lebih lambat. Katalis basa yang paling umum adalah kalium hidroksida, kalium metoksida, natrium hidroksida, natrium metoksida, dan natrium etoksida (Talha & Sulaiman, 2016).

Katalis yang digunakan dalam trans-esterifikasi biasanya basa atau asam homogen. Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian besar telah diberikan pada pengembangan katalis heterogen karena sifatnya yang sangat baik seperti ramah lingkungan, pemisahan katalis yang mudah serta dapat digunakan kembali (Borah et al., 2019).

2.3.2. Katalis Heterogen

Beberapa penelitian telah dilakukan pada katalis heterogen untuk mengatasi masalah yang disebabkan oleh katalis homogen dalam produksi biodiesel. Salah satu contoh dari katalis basa heterogen adalah kalsium oksida (CaO) dimana memiliki keuntungan aktivitas yang lebih tinggi, waktu hidup katalis yang lama, katalis yang relatif mudah dipisahkan dan katalis dapat digunakan kembali (Talha & Sulaiman, 2016).

Penggunaan katalis asam heterogen lebih berkembang dibandingkan katalis homogen karena memiliki kelebihan seperti kereaktifan tinggi, memiliki aktivitas katalitik yang baik, stabilitas yang baik dan mempunyai pusat permukaan yang aktif, keasaman yang kuat, murah, stabil, ramah lingkungan dan dapat digunakan kembali (Nata et al., 2017).

Tabel. 3. Daftar suhu, persentase dan jenis minyak untuk beberapa katalis asam (Talha & Sulaiman, 2016).

Katalis	Kondisi reaksi					% Hasil Biodisel
	Suhu (°C)	Persen katalis (%)	Jenis minyak	Jenis alkohol (alkohol : Minyak)	Waktu Reaksi (jam)	
Titanium doped amorphous zirconia	245	0,5	Minyak biji rapa	Metanol (40:1)	-	65%
Sulfated zirconia	65	1	Minyak neem	Metanol (9:1)	2	95%
Carbon-based solid acid catalyst	220	0,2	Minyak sayur bekas	Metanol (16,8:1)	4,5	94,8%

Katalis heterogen lebih menguntungkan daripada katalis homogen karena katalis heterogen dapat digunakan kembali setelah reaksi pertama selesai. Hal ini dikarenakan katalis heterogen memiliki fase substrat yang berbeda sehingga mudah untuk dipisahkan. Salah satu katalis basa yang sering digunakan dalam reaksi adalah katalis oksida logam seperti CaO, MgO atau oksida logam alkali lainnya. Namun, katalis oksida logam lebih mahal daripada hidroksida logam seperti NaOH. Meninjau efisiensi katalis dan aspek ekonomisnya, maka diperlukan katalis heterogen basis yang berasal dari bahan alam dengan harga yang relatif murah (Mohadi et al., 2016)

2.4. Bengkuang

Bengkuang (*Pachyrhizus erosus*) adalah tumbuhan yang kaya akan serat, vitamin, karbohidrat, dan mineral, saat ini diproduksi di Meksiko, Brasil, Amerika Serikat, Cina, Indonesia, Filipina, Nigeria, Thailand dan Malaysia. Dinding sel bengkuang secara kimiawi terdiri dari selulosa, lignin, pektin dan hemiselulosa.

Studi lanjutan telah menunjukkan bahwa polisakarida struktural dari dinding sel bengkuang tersusun oleh gula netral dan asam seperti arabinosa, rhamnose, xilosa, manosa, galaktosa, glukosa, asam galakturonat dan asam glukuronat. Pati merupakan polisakarida cadangan yang terdapat pada umbi bengkuang dan karakterisasinya telah menjadi tujuan banyak penelitian (Ramos-de-la-Peña et al., 2012).

Komposisi kimia dari dinding sel buah bengkuang terdiri dari selulosa, lignin, peptin dan hemiselulosa (Noman et al., 2007).



Gambar 4. Buah Bengkuang (*Pachyrhizus erosus*)

2.5. Cangkang Telur Ayam

Cangkang telur ayam merupakan limbah rumah tangga dan pemanfaatannya masih relatif sedikit, baik untuk keperluan seni maupun kerajinan tangan. Katalis yang berasal dari limbah cangkang telur, keong mas, *Meretrix venus*, cangkang tiram diusulkan untuk produksi biodiesel dan disimpulkan bahwa katalis ini ramah lingkungan karena sebagian besar dibuat dari sumber alam. Selain sifatnya yang ramah lingkungan, katalis ini juga dilaporkan menunjukkan aktivitas katalitik yang tinggi dalam kondisi reaksi yang optimal (Thi & Myat, 2017).

Dekomposisi cangkang telur untuk menghasilkan CaO sebagai katalis dilakukan pada berbagai temperatur 600, 700, 800, 900, dan 1000°C, Kemudian

karakterisasi CaO dilakukan dengan XRD dan diperpanjang menggunakan spektrofotometer FT-IR dan analisis BET. Kalsinasi terbaik untuk menghasilkan CaO dari cangkang telur ayam dengan pengotor rendah berada pada suhu 900°C (Mohadi et al., 2016).

2.6. Kalsinasi

Kalsinasi adalah penguraian suatu material pada suhu tinggi dengan adanya udara atau tanpa adanya udara. Senyawa organik yang dikalsinasi diamati sifat karakteristik fisika kimia (Julius, 2015).

Suhu yang digunakan dalam karbonisasi memiliki pengaruh besar terhadap kualitas karbon yang dihasilkan. Suhu optimal dalam proses karbonisasi berpengaruh dalam pembentukan cincin karbon polikromatik. Bila suhu yang dipakai lebih tinggi maka kemungkinan karbon akan membentuk abu dan senyawa sulfoaromatik berkarbonisasi di suhu melebihi suhu optimal (Lokman et al., 2014).

2.7. Sulfasi/Sulfonasi

Sulfasi/Sulfonasi adalah proses substitusi gugus sulfonat (HSO_3) pada kerangka karbon senyawa aromatik polisiklik. Cincin aromatik polisiklik memberikan struktur yang kuat dan stabil terikat secara kovalen dengan gugus HSO_3 sebagai bahan asam padat yang tidak larut. Proses sulfonasibahan karbon biasanya selesai dengan memanaskan bahan berkarbonisasi tidak sempurna dengan H_2SO_4 p.a pada suhu 150°C selama beberapa jam dalam lingkungan inert untuk memasukkan gugus $-\text{SO}_3\text{H}$ pada struktur lembaran karbon (Lokman et al., 2014).

Beberapa asam padat tersulfonasi, seperti oksida logam tersulfonasi, karbon tersulfonasi, dan zeolit tersulfonasi mendapat banyak perhatian dari para

peneliti(Fan et al., 2019). Oksida logam sulfat menunjukkan sifat yang sangat asam karena adanya gugus fungsi sulfat (Syazwani et al., 2019).

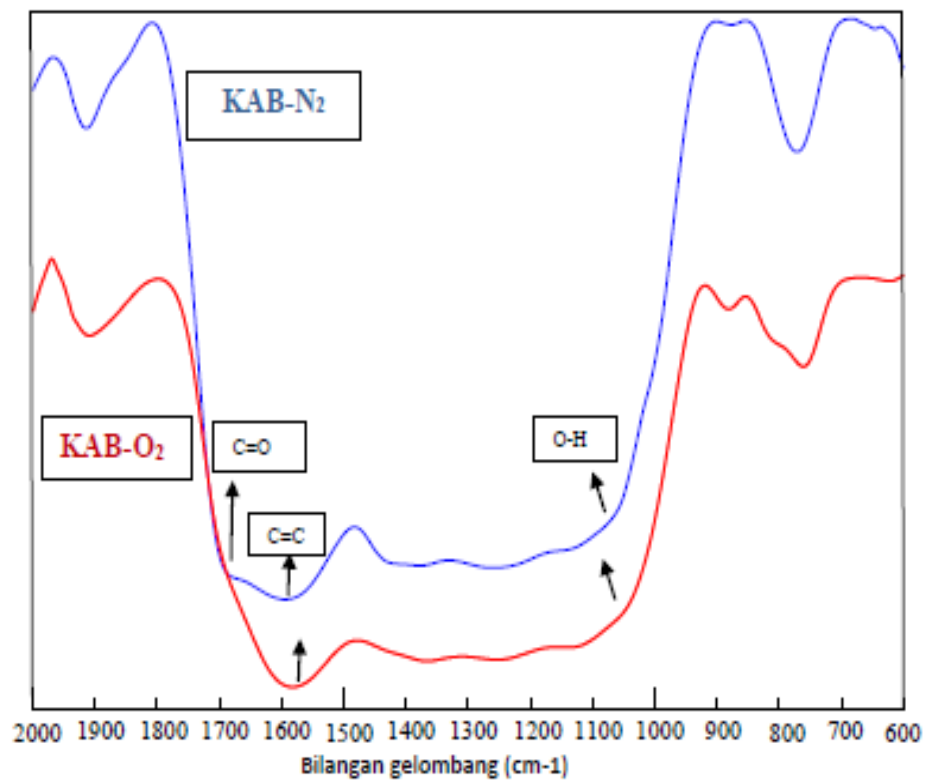
2.8. Karakterisasi Katalis

2.8.1. FT-IR

Identifikasi senyawa kimia dengan menggunakan spektrofotometer FT-IR secara umum dibagi menjadi dua bidang untuk serapan dan absorpsi senyawa anorganik menjadi senyawa organik. Daerah senyawa anorganik berada pada kisaran bilangan gelombang antara 400-600 cm^{-1} dan untuk senyawa organik berkisar pada bilangan gelombang di atas 1000 cm^{-1} (Mohadi et al., 2016)

Keberadaan gugus fungsi dalam katalis dianalisa menggunakan FTIR. Prinsipnya adalah mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan terhadap senyawa tersebut. Pola absorbansi yang diserap oleh tiap-tiap senyawa berbeda-beda, sehingga senyawa-senyawa dapat dibedakan dan dikualifikasikan (Farabi et al., 2019).

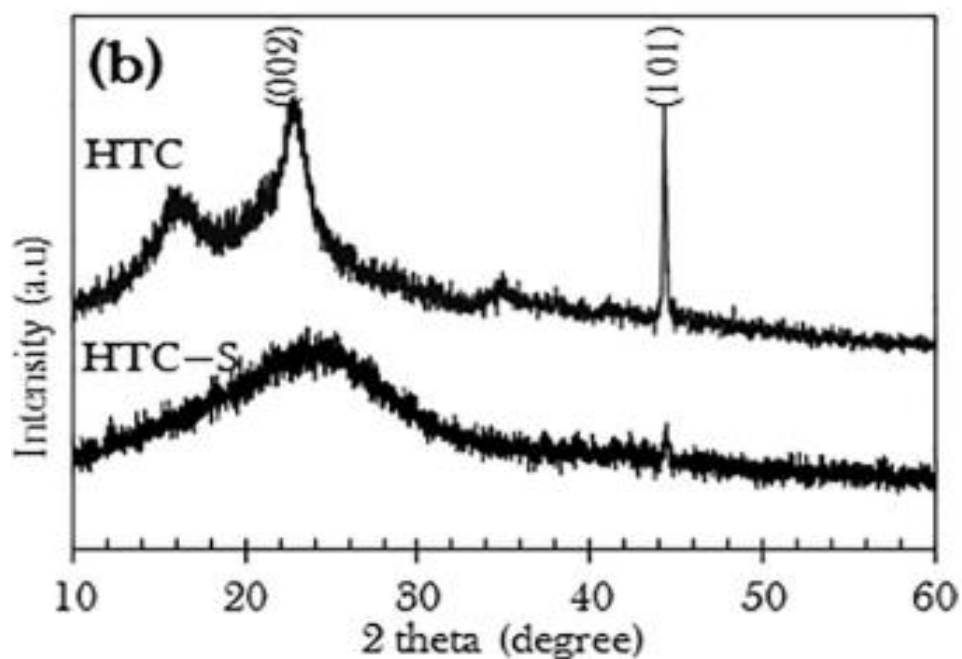
Karbon ampas bengkuang yang telah dikalsinasi diuji dengan FTIR melihat adanya gugus fungsi C=O dari kelompok -COOH . Sementara itu, pita pada 1660 cm^{-1} menunjukkan mode vibrasi C=C yang menunjukkan peregangan cincin aromatik dari karbon polisiklik aromatik yang terdapat pada semua sampel. Pita serapan 1090 cm^{-1} menandakan adanya vibrasi dari C-O yang menunjukkan mode peregangan alkohol primer (Rasmulya et al., 2020)



Gambar 5. FTIR Karbon Ampas Bengkuang (Rasmulya et al., 2020)

2.8.2. XRD

Difraksi sinar-X (XRD) adalah teknik analitik populer, dalam untuk analisis struktur molekul dan kristal identifikasi kuantitatif berbagai senyawa kimia seperti resolusi kuantitatif spesies kimia, mengukur derajat kristalinitas substitusi isomorf, polimorfisme, transisi faset, ukuran partikel. Ketika sinar-X memantulkan pada kristal mana pun, ia mengarah ke bentuk banyak pola difraksi dan polanya mencerminkan karakteristik fisika-kimiawi dari struktur Kristal (Das et al., 2014)



Gambar 6. Pola XRD dari katalis HTC dan HTC-S (Ibrahim et al., 2020).

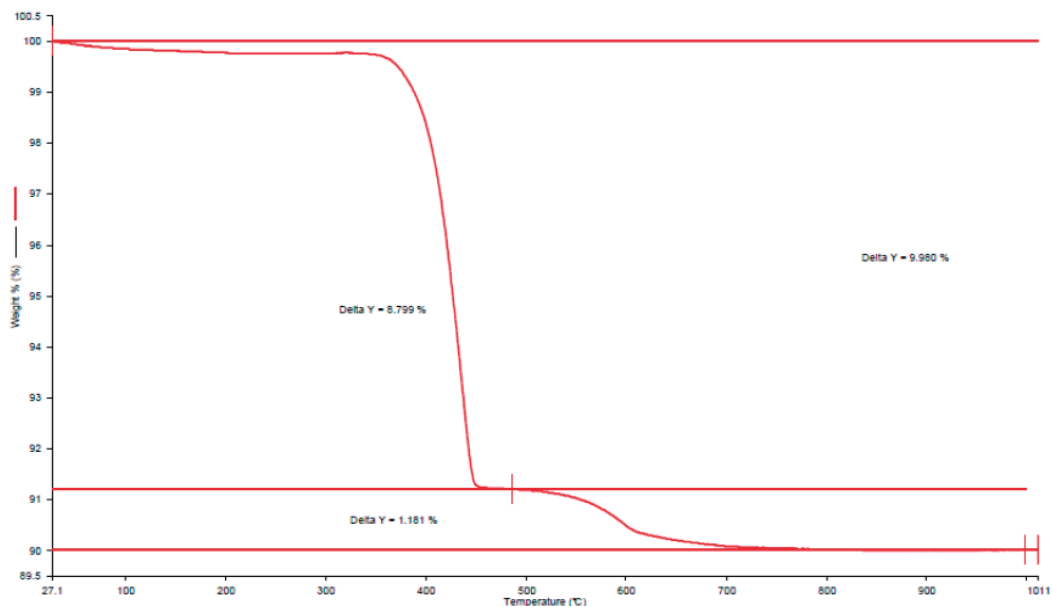
Analisis difraksi sinar-X dari katalis pati sebelum dan sesudah sulfonasi ditunjukkan pada gambar 6. Pola XRD HTC menunjukkan grafitik pada $2\theta=23^\circ$ dan 45° , yang ditempatkan masing-masing pada bidang (0 0 2) dan (1 0 1). Puncak ketidakmurnian HTC ($2\theta=16^\circ$) menghilang dalam spektrum HTC-S. setelah sulfonasi, katalis HTC-S menunjukkan struktur amor yang khas dengan puncak luas pada $2\theta=25^\circ$. hasil tersebut mengungkapkan HTC-S terdiri dari cincin karbon aromatik polisiklik yang berorientasi secara acak. Ini menunjukkan sampel tersusun oleh karbonisasi tingkat tinggi dengan lembaran karbon yang lebih besar, yang berguna untuk aktivitas katalitik selama proses reaksi esterifikasi (Ibrahim et al., 2020).

2.8.3. TGA

TGA digunakan untuk menganalisis stabilitas termal (Souza et al., 2018). Termogravimetri (TGA) dilakukan dalam aliran udara normal dan

dipertahankan pada 100 mL min^{-1} . Tingkat pemanasan adalah $10^\circ\text{C min}^{-1}$ (Teo et al., 2016).

TGA dilakukan pada rentang pemanasan $27\text{--}1000^\circ\text{C}$ pada laju pemanasan $20^\circ\text{C}/\text{menit}$ (Gambar 7). Dua kehilangan massa dari total penurunan berat sekitar 9,98% diamati. Langkah penurunan berat pertama pada $50\text{--}450^\circ\text{C}$ adalah sekitar 8,80% dan dikaitkan dengan penguapan kelembaban bebas dan dekomposisi kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ menjadi CaO dan H_2O . Yang kedua tahap penurunan berat 1,18% sekitar $490\text{--}750^\circ\text{C}$, sesuai dengan penghilangan CO_2 dari CaCO_3 saat itu berubah menjadi CaO . Hasil pembacaan TGA tidak berubah pada suhu lebih dari 800°C , menunjukkan bahwa transformasi CaCO_3 ke CaO selesai (Jitjamnong et al., 2019).



Gambar 7. Profil TGA-DTA Cangkang Telur Ayam (Jitjamnong et al., 2019).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Katalis komposit (CaO/KABS)-M dapat disintesis sebagai katalis dalam produksi biodiesel dari minyak jelantah. Sifat fisikokimia komposit dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD. Pada uji FTIR katalis komposit, pita serapan amina dan amida mengalami penurunan intensitas dari frekuensi vibrasi yang dihasilkan CaO. Pita serapan katalis komposit pada bilangan $1700-600\text{cm}^{-1}$ menggambarkan frekuensi vibrasi dari KABS. Pada uji XRD difraksi yang dihasilkan dari CaO memiliki bentuk yang berbeda dari (CaO₁/KABS₁)-M hal ini karena pengaruh campuran dari CaO dan KABS.
2. Katalis komposit (CaO/KABS)-M dapat digunakan dalam produksi biodiesel dengan komposisi 1/1 yang menghasilkan persen yield tertinggi sebesar 86,50%.
3. Densitas, laju alir, bilangan asam pada biodiesel didapatkan lebih rendah dibandingkan minyak jelantah.

5.2. Saran

Penelitian ini diharapkan mencari optimasi waktu dan jumlah katalis untuk produksi biodiesel.

DAFTAR PUSTKA

- Abdul Kapor, N. Z., Maniam, G. P., Rahim, M. H. A., & Yusoff, M. M. (2017). Palm fatty acid distillate as a potential source for biodiesel production-a review. *Journal of Cleaner Production*, 143, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.163>
- Abdullah, S. H. Y. S., Hanapi, N. H. M., Azid, A., Umar, R., Juahir, H., Khatoon, H., & Endut, A. (2017). A review of biomass-derived heterogeneous catalyst for a sustainable biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(September 2015), 1040–1051. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.008>
- Adekunle, A. S., Oyekunle, J. A. O., Oduwale, A. I., Owotomo, Y., Obisesan, O. R., Elugoke, S. E., Durodola, S. S., Akintunde, S. B., & Oluwafemi, O. S. (2020). Biodiesel potential of used vegetable oils transesterified with biological catalysts. *Energy Reports*, 6, 2861–2871. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.10.019>
- Alias, N. I., Javendra, K., & Shahrom, M. Z. (2018). Characterization of waste cooking oil for biodiesel production. *Jurnal Kejuruteraan*, 30(2), 79–83. <http://www.kyoto-kem.com/en/pdf/industry/FatVegetableOil/ETIB-99307.pdf>
- Aricetti, J. A., & Tubino, M. (2012). A green and simple visual method for the determination of the acid-number of biodiesel. *Fuel*, 95, 659–661. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.10.058>
- Aziz, M., Triwahyono, S., & Jalil, A. A. (2016). *MJCat. February 2017*.
- Bilgin, A., Gülüm, M., Koyuncuoglu, İ., Nac, E., & Cakmak, A. (2015). Determination of transesterification reaction parameters giving the lowest viscosity waste cooking oil biodiesel. 195, 2492–2500. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.318>
- Borah, M. J., Das, A., Das, V., Bhuyan, N., & Deka, D. (2019). Transesterification of waste cooking oil for biodiesel production catalyzed by Zn substituted waste egg shell derived CaO nanocatalyst. *Fuel*, 242(January), 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.060>
- Carvalho, J., Araujo, J., & Castro, F. (2011). Alternative low-cost adsorbent for water and wastewater decontamination derived from eggshell waste: An overview. *Waste and Biomass Valorization*, 2(2), 157–167. <https://doi.org/10.1007/s12649-010-9058-y>
- Das, R., Ali, M. E., & Hamid, S. B. A. (2014). Current applications of x-ray powder diffraction - A review. *Reviews on Advanced Materials Science*, 38(2), 95–109.
- Dumbre, D., & Choudhary, V. R. (2020). Properties of functional solid catalysts and their characterization using various analytical techniques. In *Advanced*

- Endut, A., Abdullah, S. H. Y. S., Hanapi, N. H. M., Hamid, S. H. A., Lananan, F., Kamarudin, M. K. A., Umar, R., Juahir, H., & Khatoon, H. (2017). Optimization of biodiesel production by solid acid catalyst derived from coconut shell via response surface methodology. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 124, 250–257. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.06.008>
- Fan, M., Si, Z., Sun, W., & Zhang, P. (2019). Sulfonated ZrO₂-TiO₂ nanorods as efficient solid acid catalysts for heterogeneous esterification of palmitic acid. *Fuel*, 252(February), 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.121>
- Farabi, M. S. A., Ibrahim, M. L., Rashid, U., & Taufiq-Yap, Y. H. (2019). Esterification of palm fatty acid distillate using sulfonated carbon-based catalyst derived from palm kernel shell and bamboo. *Energy Conversion and Management*, 181(December 2018), 562–570. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.033>
- García-Martín, J. F., Barrios, C. C., Alés-Álvarez, F. J., Dominguez-Sáez, A., & Alvarez-Mateos, P. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil in an oscillatory flow reactor. Performance as a fuel on a TDI diesel engine. *Renewable Energy*, 125, 546–556. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.002>
- Ibrahim, S. F., Asikin-Mijan, N., Ibrahim, M. L., Abdulkareem-Alsultan, G., Izham, S. M., & Taufiq-Yap, Y. H. (2020). Sulfonated functionalization of carbon derived corncob residue via hydrothermal synthesis route for esterification of palm fatty acid distillate. *Energy Conversion and Management*, 210(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112698>
- Ishola, F., Adelekan, D., Mamudu, A., Abodunrin, T., Aworinde, A., Olatunji, O., & Akinlabi, S. (2020). Biodiesel production from palm olein: A sustainable bioresource for Nigeria. *Heliyon*, 6(4), e03725. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03725>
- Jitjamnong, J., Luengnaruemitchai, A., Samanwonga, N., & Chuaykarn, N. (2019). Biodiesel production from canola oil and methanol using ba impregnated calcium oxide with microwave irradiation-assistance. *Chiang Mai Journal of Science*, 46(5), 987–1000.
- Julius, M. mungai. (2015). *Optimizing Conditions for Preparing Activated Carbon From. November*.
- Kaushik, N., Kumar, K., & Kumar, S. (2008). Potential of *Jatropha curcas* for Biofuels. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 1(3), 301–314. <https://doi.org/10.1166/jbmb.2007.002>
- Kiss, A. A. (2014). Process intensification technologies for biodiesel production: Reactive separation processes. *SpringerBriefs in Applied Sciences and*

Technology, 2016(9783319035536). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-03554-3>

- Krishnaprabu, S. (2019). A Review on Biodiesel Production as Alternative Fuel. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 7(2), 258–266. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.7441>
- Lani, N. S., Ngadi, N., & Taib, M. R. (2017). Parametric study on the transesterification reaction by using cao/silica catalyst. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 601–606. <https://doi.org/10.3303/CET1756101>
- Lokman, I. M., Rashid, U., & Taufiq-Yap, Y. H. (2015). Production of biodiesel from palm fatty acid distillate using sulfonated-glucose solid acid catalyst: Characterization and optimization. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 23(11), 1857–1864. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2015.07.028>
- Lokman, I. M., Rashid, U., Taufiq-Yap, Y. H., & Yunus, R. (2015). Methyl ester production from palm fatty acid distillate using sulfonated glucose-derived acid catalyst. *Renewable Energy*, 81, 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.045>
- Lokman, I. M., Rashid, U., Yunus, R., & Taufiq-Yap, Y. H. (2014). Carbohydrate-derived solid acid catalysts for biodiesel production from low-cost feedstocks: A review. *Catalysis Reviews - Science and Engineering*, 56(2), 187–219. <https://doi.org/10.1080/01614940.2014.891842>
- Mohadi, R., Anggraini, K., Riyanti, F., & Lesbani, A. (2016). Preparation Calcium Oxide From Chicken Eggshells. *Sriwijaya Journal of Environment*, 1(2), 32–35. <https://doi.org/10.22135/sje.2016.1.2.32-35>
- Nata, I. F., Putra, M. D., Irawan, C., & 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(3), 2171–2175. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.04.029>
- Nizar, U. K., Hidayatul, J., Sundari, R., Bahrizal, B., Amran, A., Putra, A., Latisma Dj, L., & Dewata, I. (2018). The Effect of Titanium Tetrahedral Coordination of Silica-Titania Catalyst on the Physical Properties of Biodiesel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 335(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/335/1/012036>
- Noman, A. S. M., Hoque, M. A., Haque, M. M., Pervin, F., & Karim, M. R. (2007). Nutritional and anti-nutritional components in *Pachyrhizus erosus* L. tuber. *Food Chemistry*, 102(4), 1112–1118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.055>
- Oko, S., Syahrir, I., & Irwan, M. (2018). The utilization of CAO catalyst impregnated with KOH in biodiesel production from waste cooking oil. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 7(11), 115–118.
- Putri, E. M. M., Rachimoellah, M., Santoso, N., & Pradana, F. (2012). Biodiesel

production from kapok seed oil (*Ceiba pentandra*) through the transesterification process by using cao as catalyst. *Global Journal of Researches in Engineering Chemical Engineering*, 12(2), 6–11.

- Ramos-de-la-Peña, A. M., Renard, C. M. G. C., Wicker, L., Montañez, J., Reyes-Vega, M. de la L., & Contreras-Esquivel, J. C. (2012). Optimization of the liquefaction and saccharification of structural polysaccharides of jicama (*Pachyrhizus erosus* L.) tissue by enzymatic pulping. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1), 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.001>
- Rasmulya, S. V., Nizar, U. K., Kimia, J., Matematika, F., Alam, P., Negeri, U., Jln, P., Hamka, P., & Tawar, A. (2020). *Esterifikasi PFAD dengan Katalis Karbon Ampas Bengkuang Tersulfonasi*. 1–5.
- Rohim, R., Ahmad, R., Ibrahim, N., Hamidin, N., & Azner Abidin, C. Z. (2014). Characterization of calcium oxide catalyst from eggshell waste. *Advances in Environmental Biology*, 8(22), 35–38.
- Sahar, Sadaf, S., Iqbal, J., Ullah, I., Bhatti, H. N., Nouren, S., Habib-ur-Rehman, Nisar, J., & Iqbal, M. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. *Sustainable Cities and Society*, 41(December 2017), 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.037>
- Sangar, S. K., Lan, C. S., Razali, S. M., Farabi, M. S. A., & Taufiq-Yap, Y. H. (2019). Methyl ester production from palm fatty acid distillate (PFAD) using sulfonated cow dung-derived carbon-based solid acid catalyst. *Energy Conversion and Management*, 196, 1306–1315. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.06.073>
- Sangar, S. K., Syazwani, O. N., Farabi, M. S. A., Razali, S. M., Shobhana, G., Teo, S. H., & Taufiq-Yap, Y. H. (2019). Effective biodiesel synthesis from palm fatty acid distillate (PFAD) using carbon-based solid acid catalyst derived glycerol. *Renewable Energy*, 142, 658–667. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.118>
- Souza, R. D., Vats, T., Chattree, A., & Siril, P. F. (2018). Effect of Metal Oxides on the Catalytic Activities of Sulfonated Graphene Oxide for the Esterification of Oleic Acid and Conversion of Waste Cooking Oil to Biodiesel. *Catalysis Letters*, 148(9), 2848–2855. <https://doi.org/10.1007/s10562-018-2472-7>
- Sundari, R., Putra, A., Nasra, E., Kurniawati, D., & Kalmar Nizar, U. (2019). The Effect of Silica-Titania Catalyst Loading on the Production of Biodiesel from Palm and Waste Cooking Oil. *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, 3(3), 96–101. www.ijrsred.com
- Syazwani, O. N., Rashid, U., Mastuli, M. S., & Taufiq-Yap, Y. H. (2019). Esterification of palm fatty acid distillate (PFAD) to biodiesel using Bi-functional catalyst synthesized from waste angel wing shell (*Cyrtopleura costata*). *Renewable Energy*, 131, 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.031>

- Talha, N. S., & Sulaiman, S. (2016). Overview of catalysts in biodiesel production. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(1), 439–442.
- Teo, S. H., Islam, A., & Taufiq-Yap, Y. H. (2016). Algae derived biodiesel using nanocatalytic transesterification process. *Chemical Engineering Research and Design*, 111, 362–370. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.04.012>
- Thi, T., & Myat, M. (2017). Synthesis and Characterization of CaO and KF Doped CaO (KF / CaO) Derived from Chicken Eggshell Waste as Heterogeneous Catalyst in Biodiesel Production. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences*, 38(2), 134–151.
- Yang, L., Lv, P., Yuan, Z., Luo, W., Li, H., Wang, Z., & Miao, C. (2012). Synthesis of biodiesel by different carriers supported KOH catalyst. *Advanced Materials Research*, 581–582(1), 197–201. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.581-582.197>