

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS KARBON BATANG
ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) TERSULFONASI UNTUK
PEMBUATAN BIODIESEL DARI *PALM FATTY ACID*
DESTILATE (PFAD)**



NIZA LIAN PERNADI
NIM/TM.18036140/2018

PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS KARBON BATANG
ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) TERSULFONASI UNTUK
PEMBUATAN BODIESEL DARI *PALM FATTY ACID*
DESTILATE (PFAD)**

SKRIPSI

*Diajukan kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Kimia sebaga Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)*



NIZA LIAN PERNADI
NIM/TM.18036140/2018

PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022

PERSETUJUAN SKRIPSI

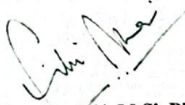
SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS KARBON BATANG ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) TERSULFONASI UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL DARI PALM FATTY ACID DESTILATE (PFAD)

Nama : Niza Lian Pernadi
NIM : 18036140
Program Studi : Kimia (NK)
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Maret 2022

Mengetahui:
Ketua Jurusan

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing



Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19800819.200912 2 002



Dra. Sri Benti Etika, M.Si
NIP. 19620913 198803 2 002

PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

Nama : Niza Lian Pernadi
NIM : 18036140
Program Studi : Kimia (NK)
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS KARBON BATANG ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) TERSULFONASI UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL DARI PALM FATTY ACID DESTILATE (PFAD)

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

Padang, Maret 2022

Tim Penguji

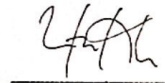
Nama

Tanda tangan

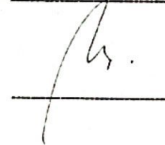
Ketua : Dra. Sri Benti Etika, M.Si



Anggota : Umar Kalmar Nizar, S.Si., M.Si., Ph.D



Anggota : Prof. Dr. Minda Azhar, M.Si



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

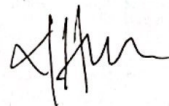
Nama : Niza Lian Pernadi
NIM : 18036140
Tempat/Tanggal lahir : Batam/ 04 November 1999
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Sintesis dan Karakterisasi Katalis Karbon Batang Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Tersulfonasi untuk Pembuatan Biodiesel dari Palm Fatty Acid Destillate (PFAD)

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, Maret 2022
Yang menyatakan



Niza Lian Pernadi
NIM : 18036140

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS KARBON
BATANG ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) TERSULFONASI
UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL DARI *PALM FATTY ACID
DESTILATE* (PFAD)**

Niza Lian Pernadi

ABSTRAK

Peningkatan jumlah penduduk di dunia dan menipisnya ketersediaan bahan bakar sehingga diperlukan bahan bakar alternative. Bahan bakar potensial yang dapat dikembangkan yaitu biodiesel. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sifat fisikokimia dan aktivitas katalitik katalis karbon batang eceng gondok tersulfonasi serta pengaruh variasi alkohol dalam reaksi esterifikasi PFAD pada pembuatan biodiesel. Metode yang digunakan dalam sintesis katalis yaitu kalsinasi dan sulfonasi. Proses kalsinasi dilakukan berdasarkan data TGA pada daerah dekomposisi masaa. Kemudian dilanjutkan dengan proses sulfonasi menggunakan H_2SO_4 pada suhu $160^\circ C$. Katalis yang diperoleh dikarakterisasi dengan instrument FTIR, XRD dan situs asam. Selanjutnya, katalis diaplikasikan pada proses pembuatan biodiesel dengan metode reaksi esterifikasi. Pada esterifikasi ini digunakan beberapa senyawa alkohol yaitu metanol, etanol dan 2-propanol. Biodiesel yang dihasilkan dikarakterisasi dengan FTIR dan dilakukan uji sifat-sifat biodiesel untuk mengetahui aktivitas katalitik katalis karbon batang eceng gondok tersulfonasi. Berdasarkan analisa instrument dengan FTIR didapatkan dua puncak kembar pada bilangan gelombang $1300-1000\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan keberadaan SO_2 dari gugus sulfonate. Pada spektrum biodiesel terdapat pita serapan dengan bilangan gelombang $1300 - 1000\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan ikatan ester pada biodiesel. Aktivitas katalitik dan konversi FFA tertinggi ditunjukkan oleh S-BEG 350. Senyawa alkohol yang efektif yang digunakan dalam reaksi esterifikasi yaitu metanol. Urutan reaktivitas alkohol berdasarkan penelitian ini yaitu metanol > etanol > isopropil alkohol.

Kata Kunci : Katalis Karbon Tersulfonasi, Batang Eceng Gondok, Esterifikasi, PFAD

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberi kekuatan dan kesabaran kepada penulis dalam menyelesaikan Skripsi yang berjudul "Sintesis dan Karakterisasi Katalis Karbon Batang Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Tersulfonasi untuk Pembuatan Biodiesel dari *Palm Fatty Acid Destilate* (PFAD)". 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 hasil penelitian ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan, dan masukan yang sangat berharga dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Ibu Dra. Sri Benti Etika, M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus sebagai Pembimbing Tugas Akhir.
2. Bapak Umar Kalmar Niza, S.Si., M.Si., Ph.D sebagai Dosen Pembahas
3. Bu Prof. Dr. Minda Azhar, M.Si sebagai Dosen Pembahas
4. Ibu Fitri Amelia, S.Si, M.Si Ph.D sebagai ketua Jurusan Kimia
5. Bapak Edi Nasra, S.Si, M.Si sebagai sekretaris urusan Kimia FMIPA UNP
6. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai ketua Program Studi Jurusan Kimia FMIPA UNP

7. Teman-teman kimia angkatan 2018 yang telah membantu dalam pembuatan proposal penelitian ini.
8. Semua pihak terkait yang telah ikut berkontribusi dalam proposal penelitian 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 hasil penelitian ini telah dibuat semaksimal mungkin. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan dan saran dari pembaca agar skripsi ini bermanfaat dikemudian harinya

Padang, Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah.....	6
E. Tujuan Penelitian.....	7
F. Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
A. Biodiesel dari PFAD	9
B. Katalis Karbon Tersulfonasi	13
C. Karbon Batang Eceng Gondok	17
D. Karakterisasi Katalis	18
E. Karakterisasi Biodiesel.....	22
F. Analisis Sifat Biodiesel.....	23
BAB III METODA PENELITIAN	27
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
B. Variabel Penelitian.....	27
C. Alat dan Bahan.....	28
D. Prosedur Kerja	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36

A. Karakterisasi Karbon dan Katalis Batang Eceng Gondok.....	36
B. Karakterisasi FTIR dari Biodiesel dengan Variasi Suhu Kalsinasi.....	44
C. Uji Sifat – Sifat Biodiesel pada Variasi Suhu Kalsinasi.....	45
D. Karakterisasi FTIR dari Biodiesel dengan Variasi Senyawa Alkohol	51
C. Uji Sifat – Sifat Biodiesel pada Variasi Senyawa Alkohol.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	58
A. Kesimpulan.....	58
B. Saran.....	59
REFERENSI	60
LAMPIRAN.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat fisikokimia dari PFAD	12
2. Perbandingan sifat PFAD dengan biodiesel	12
3. Perbandingan aplikasi PFAD menjadi biodiesel dengan metode dan katalis yang berbeda	12
4. Perbandingan sifat spesifik dari beberapa katalis	16
5. Kandungan pada setiap bagian di eceng gondok	18
6. Pemanfaatan karbon batang eceng gondok.....	18
7. Uji Bilangan asam biodiesel dari berbagai sumber feedstock	23
8. Persyaratan standard dan mutu biodiesel SNI berbahan baku minyak nabati dan ASM D6751-02	23
9. Nilai densitas dari berbagai biodiesel.....	24
10. Nilai viskositas dari berbagai biodiesel	25
11. Kode sampel yang disintesis	29
12. Kode sampel biodiesel yang dihasilkan.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Mekanisme reaksi esterifikasi	10
2. Palm Fatty Acid Distillate (PFAD)	11
3. Reaksi karbonisasi dan sulfonasi)	16
4. Perubahan batang eceng gondok menjadi karbon	18
5. Spektrum FTIR dari a) CD, b) SCD ₋₍₂₎ , c) SCD ₋₍₅₎ dan d) SCD ₋₍₁₀₎ katalis.....	19
6. Difraktogram XRD dari a) CD, b) SCD ₋₍₂₎ , c) SCD ₋₍₅₎ dan d) SCD ₋₍₁₀₎ katalis .	21
7. Spektrum FTIR dari biodiesel.....	22
8. Spektrum FTIR karbon batang eceng gondok	36
9. Spektrum FTIR katalis karbon batang eceng gondok tersulfonasi	38
10. Difraktogram C-BEG 350 dan S-BEG 350.....	40
11. Situs asam pada karbon dan katalis.....	41
12. Spektrum FTIR biodiesel dengan variasi suhu kalsinasi	44
13. Densitas biodiesel dengan variasi suhu kalsinasi	46
14. (a) Laju alir biodiesel dengan variasi suhu kalsinasi, (b) Viskositas biodiesel dengan variasi suhu kalsinasi.....	48
15. Bilangan asam biodiesel variasi suhu kalsinasi.....	49
16. Persen konversi FFA pada variasi suhu kalsinasi	50
17. Spektrum FTIR biodiesel dengan variasi alkohol	51
18. Densitas biodiesel dengan variasi alkohol	52
19. (a) Laju alir biodiesel variasi senyawa alkohol, (b) Viskositas biodiesel variasi senyawa alkohol.....	54
20. Bilangan asam biodiesel variasi alkohol.....	55
21. Persen konversi FFA pada variasi senyawa alkohol	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Alir Penelitian.....	67
2. Perhitungan	74
3. Data Penelitian	81
4. Dokumentasi	89

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perubahan iklim global dan menipisnya bahan bakar fosil telah mendorong upaya untuk penemuan bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan. Biomassa menjadi pusat perhatian sebagai salah satu upaya untuk menghasilkan sumber energi alternatif yang layak dan berkelanjutan untuk pengganti bahan bakar fosil. Salah satu sumber energi alternatif dan potensial yang dikembangkan di Indonesia adalah biodiesel karena ketersediaan bahan bakunya sangat banyak di Indonesia. Selain itu, biodiesel yang merupakan campuran mono alkil ester yang mengandung asam lemak rantai panjang memiliki sifat yang mirip dengan bahan bakar fosil, dapat diperbarui, ramah lingkungan, dan kelimpahannya secara umum (Ma dkk., 2018).

Saat ini, biodiesel sedang dikembangkan dan dalam proses uji coba melalui program pencampuran biodiesel dengan solar. Sejak tanggal 1 Januari 2020 Pemerintah Indonesia telah menetapkan penggunaan B30 (30% biodiesel dan 70% solar). Penggunaan B30 didasarkan atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Hasil dari pelaksanaan program mandatori B30 pada tahun 2020 telah berhasil menghemat devisa negara sebesar USD 5,13 milyar yang setara dengan 63,39 triliun serta telah mengurangi emisi sebesar 14,25 juta ton CO₂.

Biodiesel dapat dihasilkan dari bahan baku minyak atau lemak dari reaksi esterifikasi asam lemak bebas ataupun transesterifikasi trigliserida. Bahan baku minyak dapat berasal dari minyak yang dapat dikonsumsi (minyak sawit, minyak

jagung, minyak kelapa), ataupun minyak yang tidak dapat dikonsumsi (minyak jarak, minyak alga, minyak jelantah). Sumber bahan baku lemak yang memiliki kadar FFA sangat tinggi dapat diperoleh dari lemak hewani seperti lemak ayam, lemak sapi dan lemak nabati seperti *Virgin Coconut Oil* (VCO), *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD). Penggunaan minyak yang dapat dikonsumsi menimbulkan pro dan kontra sehingga produksi biodiesel difokuskan pada minyak/lemak yang tidak dapat dikonsumsi dan diutamakan berasal dari limbah untuk menekan biaya produksi biodiesel. Salah satu bahan baku yang berasal dari limbah dan potensial digunakan dalam produksi biodiesel yaitu PFAD.

Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) merupakan produk samping non-makanan yang berwujud padat dari pengolahan sawit mentah (CPO). Komposisi kimia PFAD adalah sekitar 85 % berat Free Fatty Acid (FFA), <10% trigliserida dan sejumlah kecil sterol, vitamin E dan squalene (Akinfalabi et al., 2020). Berdasarkan komposisinya PFAD memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai bahan baku dalam produksi biodiesel. Produksi biodiesel dengan PFAD melalui reaksi esterifikasi antara asam lemak bebas dengan alkohol. Reaksi esterifikasi merupakan reaksi yang berjalan lambat sehingga memerlukan katalis untuk meningkatkan laju reaksi.

Katalis yang sesuai untuk reaksi esterifikasi adalah katalis asam yang berfasa padat. Katalis ini potensial digunakan karena memiliki fasa padat sehingga mudah dipisahkan dari produk biodiesel. Selain itu, katalis asam padat dapat disintesis melalui sulfonasi karbon dari limbah-limbah organik yang mengandung pati, selulosa, dan hemiselulosa. Beberapa peneliti telah melaporkan penggunaan katalis karbon tersulfonasi untuk esterifikasi biodiesel yang bersumber dari bungkil biji

sawit (Akinfarabi, 2019), buah batu zaitun (Estevez et al., 2020), bungkil biji buah jarak (Mardhiah dkk., 2017), dan bongkol jagung (Rocha dkk., 2019). Pada umumnya proses karbonisasi dilakukan dengan mengalirkan gas nitrogen.

Tanaman eceng gondok merupakan tumbuhan gulma diberbagai wilayah perairan di Indonesia. Tanaman ini dapat mengganggu ekosistem perairan karena pertumbuhan yang cepat sehingga memenuhi permukaan perairan danau. Selain itu, dapat menyebabkan sulitnya oksigen masuk kedalam perairan sehingga banyak ikan yang mati. Salah satu cara untuk menanggulangnya yaitu dengan memanfaatkannya menjadi sumber karbon dalam sintesis katalis asam padat berbasis karbon tersulfonasi. Hal ini disebabkan batang eceng gondok memiliki kandungan $21,82 \pm 0,06\%$ hemiselulosa sebagai komponen utama, bersama dengan $17,14 \pm 0,12\%$ selulosa dan $8,01 \pm 0,07\%$ lignin (Q. Zhang dkk., 2016).

Sejauhi ini batang eceng gondok telah dimanfaatkan sebagai produksi biohidrogen (Pattra & Sittijunda, 2017), nanopartikel dari selulosa (Juárez-Luna dkk., 2019), karbon aktif (Riyanto dkk., 2020), absorbent (Yuliasari dkk., 2010), ash untuk campuran semen (Das & Singh, 2016), biomass (El-adawi, 2011). Akan tetapi, belum ditemukan laporan penggunaan batang eceng gondok sebagai sumber karbon dari katalis karbon tersulfonasi yang diaplikasikan dalam produksi biodiesel dari limbah *Palm Fatty Acid Destillate* (PFAD).

Senyawa alkohol memegang peranan penting dalam pembentukan biodiesel. Proses pembentukan alkil ester atau biodiesel tergantung dari jenis alkohol yang digunakan. Pada penelitian yang dilakukan oleh de Oliveira dkk., (2020), menyatakan bahwa konversi asam lemak menurun seiring dengan meningkatnya rantai alifatik dari alkohol. Sedangkan alkohol yang memiliki rantai bercabang

terjadi peningkatan konversi karena rantai cabang yang dimiliki alkohol menyebabkan menurunkan karakteristik nonpolar pada alkohol sehingga memungkinkan interaksi dengan gugus fungsi asam karboksilat. Namun, belum ada ditemukan laporan mengenai variasi alkohol pada reaksi esterifikasi dari *Palm Fatty Acid Destilate* (PFAD) dengan katalis karbon tersulfonasi.

Berdasarkan permasalahan diatas, akan dilakukan penelitian tentang penggunaan batang eceng gondok sebagai sumber karbon untuk sintesis katalis karbon batang eceng gondok tersulfonasi. Katalis yang akan digunakan akan dikarakterisasi dengan FTIR, XRD dan situs asam. Kemudian, diaplikasikan dalam produksi biodiesel dari reaksi PFAD dan dengan metanol selanjutnya katalis yang menghasilkan persen konversi FFA optimum akan diaplikasikan dalam produksi biodiesel dari PFAD dan variasi alkohol. Pada penelitian ini alkohol yang digunakan adalah metanol, etanol, dan 2-propanol. Produk yang dihasilkan akan di karakterisasi dengan FTIR dan di analisis sifat biodiesel seperti uji densitas, viskositas, bilangan asam dan persen konversi FFA.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Menipisnya jumlah bahan bakar fosil dan bertambahnya jumlah penduduk menyebabkan terjadinya lonjakan permintaan bahan bakar, sehingga diperlukan sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui. Salah satu sumber energi alternatifnya yaitu biodiesel yang tercantum pada mandatory

presiden sejak tahun 2013 hingga sekarang. Biodiesel dapat dihasilkan dengan memanfaatkan bahan-bahan limbah seperti *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD)

2. *Palm Fatty Acid Destilate* (PFAD) memiliki kandungan *Free Fatty Acid* yang tinggi sehingga berpotensi menjadi sumber feedstock dalam memproduksi biodiesel. Dalam menghasilkan biodiesel diperlukan katalis yang sesuai sumber feedstock. Salah satu katalis potensial adalah katalis karbon tersulfonasi
3. Katalis karbon tersulfonasi dapat dihasilkan dari limbah organik yang mengandung selulosa, hemiselulosa dan pati. Salah satu sumber limbah organik yang dapat digunakan yaitu batang eceng gondok karena mengandung selulosa dan hemiselulosa yang cukup tinggi
4. Katalis karbon batang eceng gondok dapat di sintesis dari kalsinasi dan dilanjutkan dengan proses sulfonasi dengan H_2SO_4 yang dilanjutkan dengan diaplikasikan ke dalam reaksi esterifikasi
5. Reaksi esterifikasi merupakan salah satu reaksi yang digunakan untuk menghasilkan biodiesel. Reaksi esterifikasi terdiri dari PFAD dan alkohol yang kemudian menghasilkan biodiesel dan produk sampingannya yaitu air.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Katalis karbon batang eceng gondok tersulfonasi disintesis berdasarkan penelitian sebelumnya dengan variasi suhu kalsinasi (250°C, 300°C, 350°C) dilanjutkan dengan proses sulfonasi dengan cara merefluks karbon dengan H_2SO_4 pada suhu 160°C selama 4 jam.

2. Karakterisasi karbon dan katalis batang eceng gondok dilakukan dengan menggunakan instrumen FTIR, XRD dan penentuan situs asam.
3. Aplikasi katalis karbon batang eceng gondok tersulfonasi melalui reaksi esterifikasi dalam produksi biodiesel menggunakan PFAD dengan variasi alkohol (metanol, etanol, isopropil alkohol/2-propanol).
4. Karakterisasi biodiesel yang dihasilkan (*yield biodiesel*) dengan menggunakan instrumen FTIR, dan penentuan bilangan asam,
5. Pengujian sifat-sifat biodiesel dibatasi pada uji densitas, viskositas, bilangan asam dan persen konversi FFA.

D. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat fisikokimia dari katalis karbon batang eceng gondok yang telah disintesis dari proses sebelum sulfonasi dan setelah sulfonasi dengan H_2SO_4 ?
2. Bagaimana aktivitas katalitik katalis karbon batang eceng gondok tersulfonasi dengan melakukan uji analisis dan karakteristik seperti uji densitas, viskositas, bilangan asam, persen konversi FFA, XRD dan FTIR ?
3. Bagaimana pengaruh variasi alkohol dalam esterifikasi PFAD dengan katalis karbon batang eceng gondok tersulfonasi terhadap sifat biodiesel melalui uji densitas, viskositas, bilangan asam, persen konversi dan karakterisasi dengan FTIR ?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi sifat fisikokimia dari katalis karbon batang eceng gondok yang telah disintesis dari proses sebelum sulfonasi dan setelah sulfonasi dengan H_2SO_4
2. Mengidentifikasi aktivitas katalitik katalis karbon batang eceng gondok tersulfonasi dengan melakukan uji analisis dan karakteristik seperti uji densitas, viskositas, bilangan asam, persen konversi FFA, XRD dan FTIR
3. Mengidentifikasi pengaruh variasi alkohol dalam esterfikasi PFAD dengan katalis karbon batang eceng gondok tersulfonasi terhadap sifat biodiesel melalui uji densitas, viskositas, bilangan asam, persen konversi FFA dan karakterisasi dengan FTIR.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari Penelitian ini yaitu:

1. Memberikan informasi mengenai sifat fisikokimia dari katalis karbon batang eceng gondok yang telah disintesis dari proses sebelum sulfonasi dan setelah sulfonasi dengan H_2SO_4
2. Memberikan informasi aktivitas katalitik katalis karbon batang eceng gondok tersulfonasi dengan melakukan uji analisis dan karakteristik seperti uji densitas, viskositas, bilangan asam, persen konversi FFA, XRD dan FTIR
3. Memberikan informasi mengenai pengaruh variasi alkohol dalam esterfikasi PFAD dengan katalis karbon batang eceng gondok tersulfonasi terhadap sifat

biodiesel melalui uji densitas, viskositas, bilangan asam, persen konversi FFA dan karakterisasi dengan FTIR.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Biodiesel dari PFAD

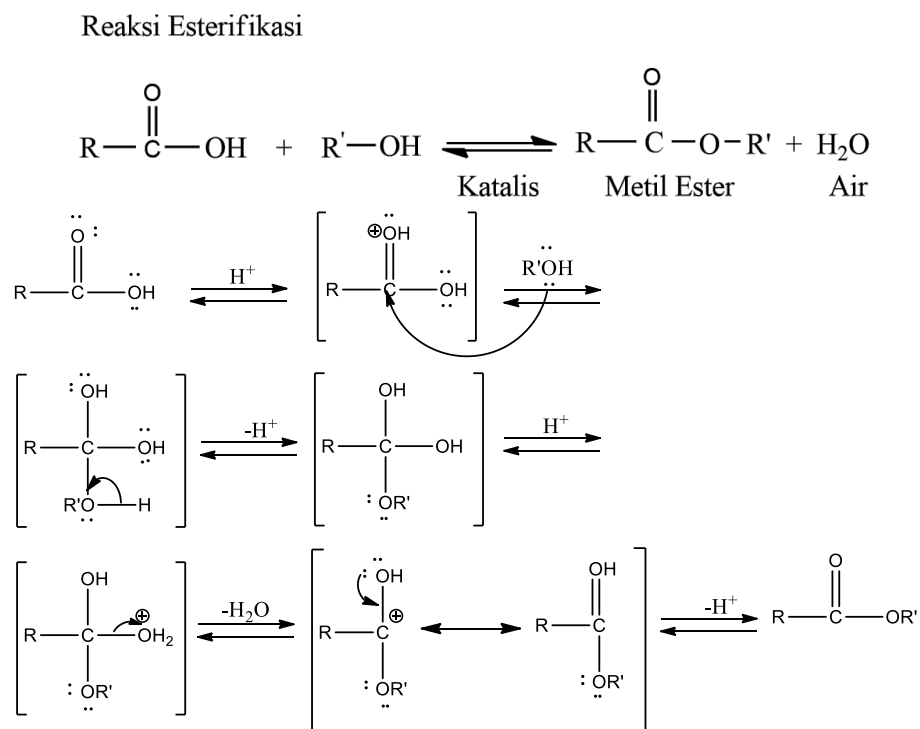
Biodiesel merupakan salah satu sumber energi alternatif yang ramah lingkungan serta memiliki sifat pembakaran yang mirip dengan bahan bakar dari minyak bumi. Biodiesel dapat diproduksi dari minyak nabati ataupun minyak yang tidak dapat dikonsumsi yang direaksikan dengan alkohol dibantu oleh katalis. Biodiesel yang dihasilkan harus bersifat *biodegradable*, tidak beracun, dan emisi yang dihasilkan lebih rendah daripada minyak diesel yang terbuat dari minyak bumi. Faktor-faktor penting dalam proses produksi biodiesel memenuhi reaksi yang sempurna, menghilangkan gliserin, katalis, alkohol, mengandung asam lemak bebas (*free fatty acid*) dan sulfur yang terkandung rendah (Wu dkk., 2018).

Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi esterifikasi atau transesterifikasi. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi antara trigliserida dengan alkohol yang menghasilkan ester. Ester yang dihasilkan pada reaksi ini dikonversikan menjadi ester lain dengan pertukaran gugus alkoholik atau gugus asam (Syahrizal dkk., 2021). Kemudian, reaksi esterifikasi adalah reaksi antara asam lemak dengan alkohol yang menghasilkan metil ester. Asam lemak yang digunakan pada pembuatan dapat menggunakan minyak yang memiliki asam lemak tinggi (>80%) seperti *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD), *Crude Palm Oil* (CPO), lemak sapi, lemak ayam, dll.

Reaktan alkohol yang digunakan merupakan alkohol yang memiliki rantai pendek seperti metanol, etanol, propanol, dan isopropil alkohol. Metanol merupakan pelarut yang umum selain air dan etanol. Metanol sering dimanfaatkan

menjadi pelarut dalam mengekstraksi metabolit sekunder pada tanaman. Selain, metanol merupakan alkohol yang paling sederhana yang disebut metil alkohol. Etanol banyak digunakan sebagai pelarut karena beberapa keuntungan yang meliputi titik didih rendah, biaya rendah, tidak beracun, sepenuhnya mudah larut dengan air, dan dapat dengan mudah dipulihkan (Q. Zhang dkk., 2016). Hal ini juga dianggap pelarut organik berbasis alkohol yang paling baik yang secara efisien dapat memecah hubungan antarmolekul dalam biomassa (Mateo dkk., 2020).

Dalam reaksi esterifikasi ini memiliki produk utama yaitu *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dan air sebagai produk sampingan. Reaksi esterifikasi merupakan reaksi bolak balik yang berjalan lambat tanpa adanya katalis, sehingga diperlukan katalis untuk mengecilkkan energi aktivitas. Berikut reaksi dan mekanisme dari reaksi esterifikasi :



Gambar 1. Mekanisme reaksi esterifikasi (Hassan dkk., 2017)

Dalam pembuatan biodiesel memerlukan bahan baku *Free Fatty Acid* (FFA) yang terkandung di dalam minyak nabati atau lemak. *Free Fatty Acid* (FFA) berperan penting dalam menghasilkan *Fatty Acid Methyl Acids* (FAME) yang dapat dijadikan sebagai biodiesel, serta bahan baku ini juga mempengaruhi $\pm 75\%$ dari keseluruhan biaya produksi. Dalam mengurangi biaya produksi, maka digunakan bahan baku murah dan tidak dikonsumsi seperti minyak goreng limbah (WCO), lemak dan *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) serta meningkatkan keberlanjutan produksinya.

Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2019 menyatakan bahwa Indonesia menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO) sebanyak 30,2 juta ton. Selain itu, limbah PFAD yang dihasilkan sebesar 1,208 juta ton dan akan terus meningkat seiring bertambahnya luas area perkebunan sawit. Oleh karena itu, PFAD berpotensi dijadikan sumber feedstock untuk menghasilkan biodiesel.



Gambar 2. Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) (Google Image)

Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) merupakan minyak yang tidak dikonsumsi dan mengandung *Free Fatty Acid* (FFA) yang tinggi (N. A. Ibrahim dkk., 2019). Komposisi yang terdapat pada Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) seperti $\pm 90\%$ FFA, 10% trigliserida, digliserida, monogliserida dan sejumlah kecil pengotor lainnya (Akinfalabi, 2019). Berdasarkan jumlah atom karbon pada

senyawa asam pada PFAD dengan rantai C15-C18 antara lain adalah asam laurat, asam miristat, asam palmitat, asam stearat, asam oleat dan asam linoleat (Syahrizal dkk., 2021).

Tabel 1. Sifat fisikokimia dari PFAD

	Jumlah Kandungan
Bilangan penyabunan (mg KOH/g minyak)	148 $\pm$ 1,33
Bilangan asam (mg KOH ⁻¹ minyak)	175,6 $\pm$ 2,84
Kandungan FFA (%)	87,8 $\pm$ 1,42
Kandungan Asam Lemak	
Asam Palmitat (C _{16:0})	45,7
Asam Miristat (C _{14:0})	1,9
Asam Stearat (C _{18:0})	4,3
Asam Linoleat (C _{18:2})	7,9
Asam Oleat (C _{18:1})	40,2

(N. A. Ibrahim dkk., 2019)

Tabel 2. Perbandingan sifat PFAD dengan biodiesel

Sifat PFAD	PFAD Methyl Ester	ASTM D6751-2
Viskositas (mm ² s ⁻¹ ; 40°C)	4,65 $\pm$ 0,02	1,9 - 6,0
Densitas (15°C), kgL ⁻¹	0,88 $\pm$ 0,01	0,87 - 0,9
Titik Kabut (°C)	11,8 $\pm$ 0,15	-3 sampai 12
Titip Tuang (°C)	13 $\pm$ 0,51	-15 sampai 16
Titik Nyala (°C)	167 $\pm$ 2,00	100 - 170
Kandungan Sulfur (%)	0,041 $\pm$ 0,002	Maksimal 0,05%

(Sangar dkk., 2019)

Beberapa tahun terakhir, para peneliti telah melakukan riset dalam mengaplikasikan PFAD. Berikut tabel penelitian mengenai pemanfaatan PFAD

Tabel 3. Perbandingan aplikasi PFAD menjadi biodiesel dengan metode dan katalis yang berbeda

No	Katalis	Kondisi esterifikasi : alkohol:PFAD molar ratio (mol:mol); massa katalis (wt%); suhu (C); waktu (s)	Yield	Referensi
1	Pati tersulfonasi	10; 2; 75; 3	90,4	(Lokman dkk., 2016)

2	Glukosa tersulfonasi	10; 2,5; 75; 2	92,3	(Lokman dkk, 2015)
3	Karbon nanotube multi-dinding tersulfonasi	20; 3; 170; 2	93,5	(Shuit & Tan, 2019)
4	Ampas tebu tersulfonasi	20; 11,5; 170; 0,5	80	(Chin dkk., 2012)
5	Campuran kromium-tungsten	2; 1,5; 170; 3	86	(Wan dkk., 2015)
6	Aluminium alginat	20; 10; 65; 3,5	92	(Cheryl-Low dkk., 2015)
7	Mesoporus AlZn_2O_4 tersulfonasi	9; 1; 120; 1	94,65	(Soltani dkk., 2016)
8	Karbon Kerang Sayap Malaikat tersulfonasi (CAWS)	15; 5; 80; 3	98	(Syazwani dkk., 2019)

Lokman dkk., (2015) telah melakukan esterifikasi PFAD dengan katalis asam padat glukosa tersulfonasi dan diperoleh hasil 92,4% FAME pada suhu 65°C dengan waktu reaksi 134 menit. (Akinfalabi dkk., 2019) menggunakan katalis karbon biji kenaf tersulfonasi dalam mengkonversi PFAD menjadi 97,9% FAME pada suhu 338 K selama 90 menit. Sedangkan, Sangar dkk (2019) menggunakan katalis asam padat berbasis karbon yang berasal dari gliserol dalam mensintesis biodiesel, yang menghasilkan rata-rata >96% dengan menggunakan katalis yang telah di recycle.

B. Katalis Karbon Tersulfonasi

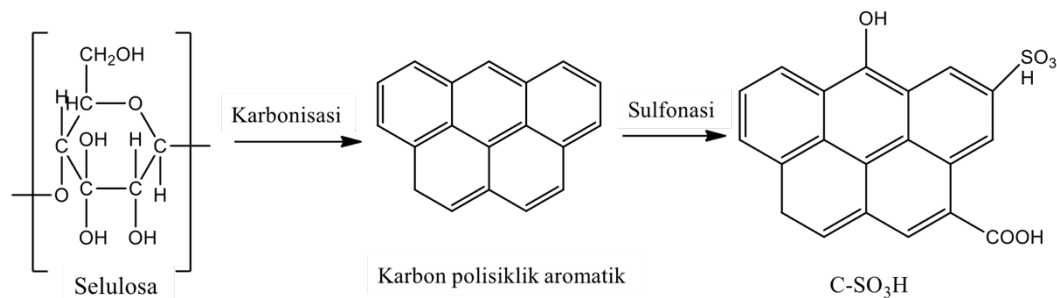
Katalis merupakan salah satu komponen yang sering ditemukan dalam sebuah reaksi yang bertujuan untuk meningkatkan ataupun mempercepat proses reaksi.

Katalis memiliki peran penting dalam menurunkan biaya produksi dalam proses kimia. Umumnya biaya proses kimia memakan biaya yang cukup besar, dan juga katalis dapat mempercepat reaksi dibawah suhu dan tekanan yang lebih rendah (Mateo dkk., 2020). Berdasarkan perbedaan fasa, katalis terbagi menjadi 2 jenis yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fasa yang sama antara fasa reaktan dan fasa produk sehingga sulit dipisahkan dikarenakan memiliki fasa yang sama. Sedangkan, katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fasa yang berbeda antara fasa reaktan dan fasa produk sehingga lebih mudah dipisahkan bila dibandingkan dengan katalis homogen (Endang, 2018). Katalis homogen yang umum digunakan seperti asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl) dikarenakan memiliki efisiensi yang tinggi sebagai katalis serta biaya yang rendah. Namun, penggunaan katalis ini dapat menyebabkan masalah seperti pemisahan katalis yang sulit, menyebabkan korosi pada peralatan dan pencemaran lingkungan dari cairan limbah (B. Zhang dkk., 2021). Dalam mengatasi kelemahan pada katalis homogen maka digunakan katalis heterogen. Katalis heterogen yang umum digunakan ada 2 jenis yaitu katalis asam heterogen dan katalis basa heterogen. Katalis asam heterogen memiliki keuntungan dalam aplikasinya yang ramah lingkungan dan hemat energi karena pemisahan katalis yang mudah, dapat didaur ulang dan digunakan kembali (Bai dkk., 2014). Selain itu, pada pengaplikasian katalis heterogen tidak memerlukan kondisi tertentu dalam reaksinya dan juga tidak sensitive terhadap kandungan asam lemak bebas tinggi (Rocha dkk., 2019). Oleh sebab itu, katalis heterogen banyak dikembangkan oleh para peneliti.

Katalis asam padat berbahan karbon merupakan salah satu bahan pendukung yang menarik banyak peneliti, karena memiliki stabilitas yang baik, ketersediaan dan kemudahan fungsionalisasi (Laohapornchaiphan dkk., 2017) serta, karbon memiliki sifat penyangga katalis yang bersifat inert, memiliki permukaan yang berpori dan juga permukaan karbon dapat dimodifikasi (Dejean dkk., 2017). Katalis asam padat berbasis karbon telah menarik perhatian peneliti yang disebabkan oleh karakteristik yang dimiliki yaitu sumber bahan baku yang dapat ditemukan dan kaya akan gugus fungsional permukaan (T. Zhang dkk., 2020). Selain itu, biaya sintesis rendah, aktivitas katalitik yang tinggi dan sumber karbon yang melimpah sehingga katalis berbasis karbon cocok dipilih sebagai katalis pada suatu reaksi (Thuppati dkk., 2021). Salah satu contoh dari katalis asam padat berbasis karbon yaitu katalis karbon tersulfonasi.

Katalis karbon tersulfonasi merupakan karbon yang telah tersubstitusi oleh gugus sulfonat ($-\text{SO}_3\text{H}$) ke permukaan karbon. Dalam menghasilkan katalis karbon tersulfonasi menggunakan proses kalsinasi dan sulfonasi. Proses kalsinasi menghasilkan karbon yang dapat dilanjutkan ke proses sulfonasi. Sulfonasi adalah reaksi yang paling umum digunakan dalam katalis karbon tersulfonasi umumnya disintesis dengan 2 tahap, pada tahap pertama dengan cara pirolisis untuk menghasilkan biochar dan yang kedua dengan reaksi sulfonasi. Akan tetapi, (C. Zhang dkk., 2020) melakukan pengembangan metode pembuatan katalis karbon tersulfonasi dengan 1 tahap. Katalis asam padat dari proses sulfonasi menunjukkan kinerja katalitik yang tinggi dan stabilitas yang baik dalam reaksi esterifikasi (Sinaga, 2021). Karbonisasi dilakukan pada suhu $\pm 400^\circ\text{C}$ agar membentuk struktur poliaromatik. Selanjutnya dilakukan tahap sulfonasi dengan

asam sulfat pada suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$ yang bertujuan terikatnya gugus sulfonate pada struktur aromatiknya (Sinaga, 2021).



Gambar 3. Reaksi karbonisasi dan sulfonasi (Wanchai & Soyjit, 2016)

Tabel 4. Perbandingan sifat spesifik dari beberapa katalis

No	Sumber Karbon	Aplikasi pada esterifikasi biodiesel dengan sumber bahan baku	Metode esterifikasi : alkohol:minyak molar ratio (mol:mol); massa katalis (wt%); suhu (C); waktu (s); % yield	Referensi
1	PCM-180 (Material polimerik karbon)	Asam oleat,	10:1, 10 wt%, suhu refluks, 3 jam, 95,03%	(Zhou dkk., 2019)
2	CTER (Material karbon dari serat karet dengan proses pirolisis)	Limbah Minyak Sayur	24:1 ; rasio massa katalis terhadap minyak 0,1 ; 240°C ; 20 menit ; 96%	(L. A. Sanchez-Olmos, J. Medina-Valtierra, K. Sathish-Kumar, 2016)
3	Karbon tersulfonasi dari buah batu zaitun	Gliserol	4:1 ; 5 wt% ; 75°C ; 15 menit ; 22%	(Estevez dkk., 2020)
4	Katalis karbon tersulfonasi dari limbah	Minyak buah jarak	12:1 ; 7,5 wt% ; 60°C ; 60 menit ; 99,13%	(Mardhiah dkk., 2017)

	bungkil biji buah jarak			
5	Katalis bungkil biji sawit	PFAD	9:1 ; 2,5 wt% ; 60°C ; 2 jam ; 97,8%	(Akinfalabi dkk., 2017)
6	Sulfonasi karbon aktif dari tongkol jagung	Minyak Kedelai Olahan	6:1 ; 20 wt% ; suhu refluks ; 20 menit ; 88,7%	(Rocha dkk., 2019)

C. Karbon Batang Eceng Gondok

Tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) berasal dari lembah amazon yang terdaftar sebagai salah satu gulma yang memiliki pertumbuhan yang luar biasa cepat. Pertumbuhan yang luar biasa cepat ini dapat menghasilkan hampir 2 ton biomassa per arce dan populasinya akan berlipat ganda setiap 5-15 hari (Q. Zhang dkk., 2016). Peningkatan populasi pada eceng gondok disebabkan oleh eutrofikasi di air. Eutrofikasi adalah keadaan dimana meningkatnya jumlah zat organik dan nutrient (terutama unsur nitrogen dan phosphor) terakumulasi di air. Kenaikan zat organik dan nutrient pada air disebabkan oleh limbah dosmetik, limbah pertanian, dan lain-lain.

Batang pada eceng gondok memiliki batang yang berongga dan warna bulat hijau mengkilap. Pada batang eceng gondok mengandung selulosa sebesar $17,14 \pm 0,12\%$, hemiselulosa $21,82 \pm 0,06\%$, lignin $8,01 \pm 0,07\%$ dan kandungan lainnya $53,03 \pm 0,25\%$ (Q. Zhang dkk., 2016). Kandungan selulosa dan hemiselulosa dapat dijadikan salah satu sumber penghasil karbon aktif yang *low cost* dan *renewable* (Riyanto dkk., 2020).



Gambar 4. Perubahan batang eceng gondok menjadi karbon (Wikipedia)

Tabel 5. Kandungan pada setiap bagian di eceng gondok

Bagian	Kandungan (%)				
	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin	<i>Crude Lipid</i>	dll
Daun	15,42 ± 0,08	29,75 ± 0,15	9,79 ± 0,06	0,63 ± 0,08	45,04 ± 0,29
Batang	17,14 ± 0,12	21,82 ± 0,06	8,01 ± 0,07	1,6 ± 0,09	53,03 ± 0,25
Keseluruhan	18,07 ± 0,20	28,21 ± 0,11	7,03 ± 0,09	-	46,69 ± 0,40

(Q. Zhang dkk., 2016)

Tabel 6. Pemanfaatan karbon batang eceng gondok

No	Aplikasi Karbon Batang Eceng Gondok	Referensi
1	Produksi Biohidrogen	Pattra & Sittijunda, 2017
2	Nanopartikel Dari Selulosa	Juárez-Luna dkk., 2019
3	Karbon Aktif	Riyanto dkk., 2020
4	Absorbent	Yuliasari dkk., 2010
5	Ash Untuk Campuran Semen	Das & Singh, 2016
6	Biomass	El-adawi, 2011

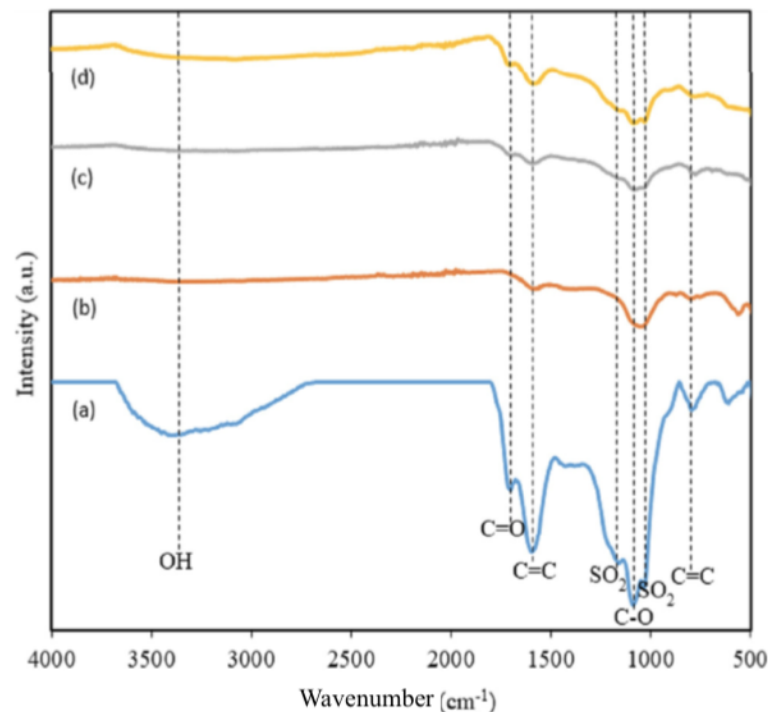
D. Karakterisasi Katalis

1. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Spektrum FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi yang ada dalam katalis.

Keberadaan gugus fungsi dalam katalis dianalisa menggunakan FTIR. Prinsipnya

didasarkan pada getaran atom-atom suatu molekul, yang menghasilkan spektrum IR khas yang diperoleh dengan mengirimkan sinar IR melalui sampel dan menentukan gugus apa dari berkas ini yang diserap pada energi tertentu. Pola absorbansi yang diserap oleh tiap-tiap senyawa berbeda-beda, sehingga senyawa-senyawa dapat dibedakan dan dikualifikasikan (Farabi dkk., 2019).



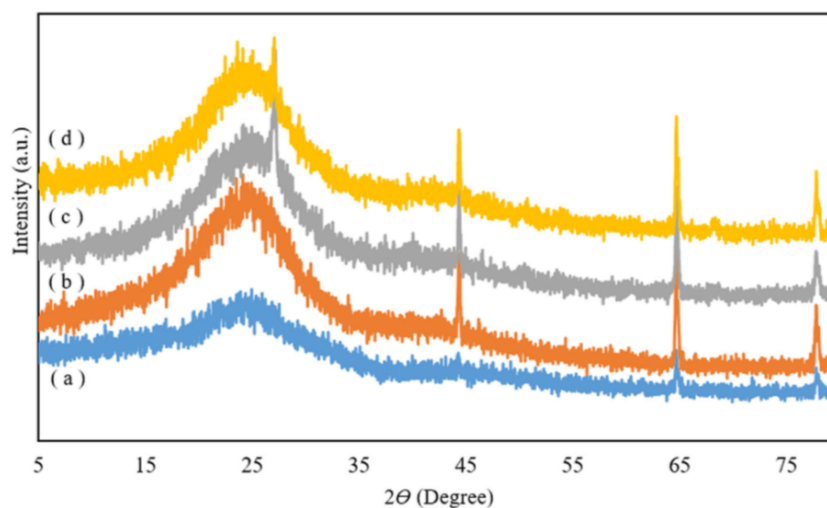
Gambar 5. Spektrum FTIR dari a) CD, b) SCD₋₍₂₎, c) SCD₋₍₅₎ dan d) SCD₋₍₁₀₎ katalis (Sangar dkk., 2019)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Sangar dkk., (2019), diketahui bahwa ada beberapa pita serapan yang identik pada CD (*Cow Dung*), SCD (*Sulfonated Cow Dung*)- (2), SCD (*Sulfonated Cow Dung*) - (5), dan SCD (*Sulfonated Cow Dung*) - (10) katalis di gambar 5. Pada bilangan gelombang 3650-3200 cm^{-1} merupakan pita serapan gugus O-H yang dikaitkan dengan penyerapan molekul air dengan mode peregangan. Bilangan gelombang 1710-1680, pita serapan mode peregangan C=O dari kelompok -COOH. Sementara itu, pita serapan pada 1650-1566 yang

merupakan peregangan C=C dari cincin aromatik pada karbon poliaromatik. Dua puncak pada spektrum FTIR mengacu pada gugus fungsi S=O yang mana terdapat S=O asimetris yang berada pada bilangan gelombang 1160-1120 dan S=O simetris 1070-1030 yang mengalami peregangan. Dua puncak tersebut merupakan bukti adanya keberadaan gugus -SO₃H yang terikat secara kovalen pada struktur karbon poliaromatik. Pada gugus C-O muncul pada bilangan gelombang 1085-1050 yang dikaitkan dengan cincin -C-O-C yang berikatan secara glikosidik.

2. X-Ray Diffraction (XRD)

Menurut (Rosset & Perez-Lopez, 2019), Difraksi sinar-X untuk menganalisa struktur kristal, berdasarkan intensitas puncak, informasi tentang struktur kristal posisi atom, faktor suhu, atau penempatan, serta analisis tekstur dan fase kuantitatif dapat diperoleh. Ketika sinar-X memantulkan sinarnya pada kristal mana pun, kemudian mengarah pada banyak pola difraksi dan polanya mencerminkan karakteristik fisika-kimiawi dari struktur kristal (Das & Singh, 2016). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Sangardkk., 2019).



Gambar 6. Difraktogram XRD dari a) CD, b) SCD₋₍₂₎, c) SCD₋₍₅₎ dan d) SCD₋₍₁₀₎ katalis (Sangar dkk., 2019)

Pada gambar 6, mewakili pola XRD untuk CD (*Cow Dung*), SCD (*Sulfonated Cow Dung*) - (2), SCD (*Sulfonated Cow Dung*) - (5), dan SCD (*Sulfonated Cow Dung*) - (10) katalis. Semua katalis menunjukkan pola difraksi yang sama grafit (0 0 2) bidang dengan puncak yang luas pada $2\theta = 25^\circ$. Akibatnya, struktur karbon aromatik polisiklik dan material karbon amorf terbentuk. Selain itu, munculnya pola difraksi ini merupakan kontribusi dari proses sulfonasi sehingga terdapat pola difraksi karbon amorf yang terdiri dari karbon polisiklik aromatik yang tidak terorganisir. Pada puncak pada $2\theta = 27^\circ$ memiliki puncak yang tajam untuk katalis SCD- (5) dan SCD - (10) yang berasal dari domain grafit 3 dimensi kristal. Selain itu, ada beberapa difraksi tajam puncak diamati antara $2\theta = 40-80^\circ$. Karbon disulfonasi dengan asam sulfat pekat untuk mengaktifkan situs asam Brönsted di permukaan katalis dengan mensubstitusi gugus sulfonat ($-\text{SO}_3\text{H}$) dari asam ke permukaan karbon dan membentuk karbonil sulfida. Berdasarkan pola XRD, terungkap bahwa intensitas puncak meningkat seiring waktu refluks sulfonasi meningkat.

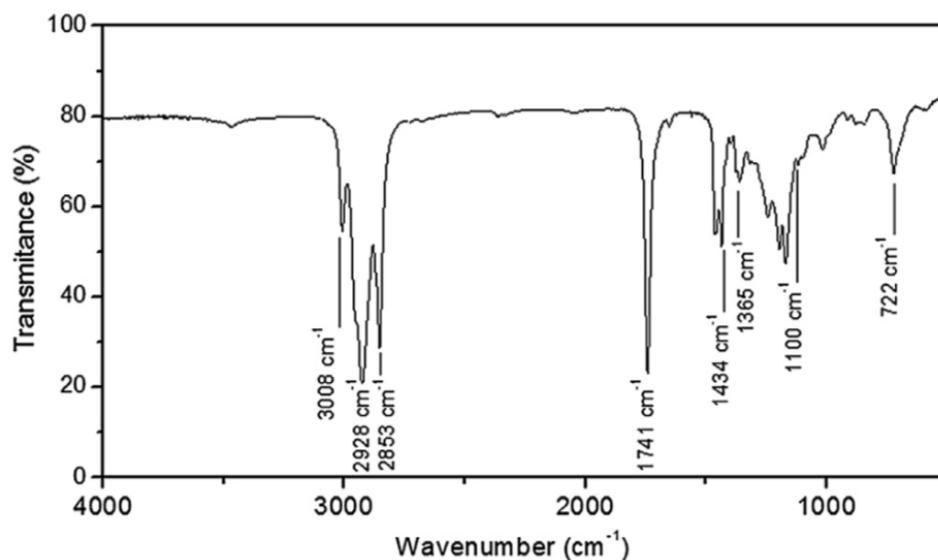
3. Situs Asam

Faktor utama yang mempengaruhi aktivitas katalitik katalis ditentukan oleh tingkat reaksi terutama ditentukan oleh kekuatan asam dan jumlah situs aktif yang dapat diakses di permukaan katalis. Dalam hal ini, diperhatikan bahwa kehadiran kelompok $-\text{SO}_3\text{H}$ pada permukaan katalis sangat mempengaruhi aktivitas katalitik dan terindikasi katalis yang memiliki kekuatan asam kuat yang dapat meningkatkan laju reaksi (Farabi et al., 2019).

E. Karakterisasi Biodiesel

1. Fourier Transform Infrared (FTIR)

Pada riset yang dilakukan oleh (Ferreira dkk., 2019), dilakukan karakterisasi terhadap biodiesel yang dihasilkan dengan menggunakan instrumen FTIR dalam mengidentifikasi gugus fungsi pada biodiesel. Spektrum FTIR menunjukkan 2 karakteristik pita serapan yang kuat pada 1434 cm^{-1} dan 1741 cm^{-1} yang berasal dari gugus karbonil (-C=O), pada pita serapan 1100 cm^{-1} karena peregangannya antisimetrik dan asimetris. Getaran peregangannya CH_3 , CH_2 dan CH muncul pada 2853 cm^{-1} , 2928 cm^{-1} dan 3008 cm^{-1} . Pita pada 722 cm^{-1} merupakan peregangannya dari karbon olefinik (-C=CH_2).



Gambar 7. Spektrum FTIR dari biodiesel (Ferreira dkk., 2019)

2. Bilangan Asam

Kandungan asam lemak bebas yang tinggi pada biodiesel dapat mempengaruhi mesin kendaraan motor, terutama pada injektor bahan bakar serta tengki selama

penyimpanan. Oleh karena itu, jumlah asam lemak bebas pada biodiesel harus disesuaikan dengan konsentrasi yang rendah. Parameter dalam menentukan kandungan asam lemak bebas adalah bilangan asam. Bilangan asama adalah jumlah KOH dalam mg yang ditambahkan dalam 1 gram biodiesel. Stabilitas biodiesel dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kondisi penyimpanan (suhu, kelembaban dan kandungan air pada biodiesel), semakin tinggi suhu maka bilangan asam akan semakin bertambah (Aricetti & Tubino, 2012).

Tabel 7. Uji Bilangan asam biodiesel dari berbagai sumber feedstock

No	Sumber Feedstock yang menghasilkan biodiesel	Bilangan Asam (mg KOH/g)	Referensi
1	PFAD	0,33	S. Chongkhong, 2009
2	Minyak biji karet	0,118	Ramadhas, 2004
3	Minyak Mahua	0,41	Ghadge, 2006
4	Soapstock dari kedelai	0,05	Hass, 2005
5	Diesel	0,35	Diesel
6	ASTM D6751-2	0,8	ASTM D6751-2
7	Standar Nasional Indonesia	0,5	SNI 7182: 2015

F. Analisis Sifat Biodiesel

Dalam menganalisa sifat biodiesel diperlukan standar untuk menentukan kualitas dari biodiesel yang dihasilkan. Salah satu standar yang dapat digunakan yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2015. Dalam penelitian ini, peneliti hanya melakukan beberapa pengujian sederhana dalam menganalisa sifat biodiesel yang dihasilkan yaitu uji densitas, uji viskositas bilangan asam dan bilangan penyabunan.

Tabel 8. Persyaratan standard dan mutu biodiesel SNI berbahan baku minyak nabati dan ASM D6751-02

No	Parameter uji	SNI	ASM D6751-02
1	Massa jenis pada 40°C	850 - 890 kg/m ³	870-900 kg/m ³

2	Viskositas kinematik pada 40°C	2,3 - 6,0 mm ² /s	1,9-6,0 mm ² /s
3	Angka setana	>51	Min. 47
4	Titik Kabut	Maks 18°C	-15 sampai 16°C
5	Titik nyala (mangkok tertutup)	100°C, min	Min. 130°C
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)	850 - 890 kg/m ³	-
7	Angka asam	0,5 mg-KOH/g, maks	Maks. 0,8 mg-KOH/g,
8	Kadar ester metil	96,5 %-massa, min	-

1. Densitas

Densitas merupakan salah satu parameter dalam menentukan kualitas dari biodiesel. Selain itu, densitas juga dapat menentukan jumlah bahan bakar yang dapat disalurkan ke mesin untuk pembakaran. Biodiesel yang memiliki densitas tinggi mengandung massa yang lebih banyak bila dibandingkan dengan densitas rendah. Beberapa faktor yang mempengaruhi densitas dari biodiesel yaitu karakteristik metil ester, feedstock yang digunakan dan proses produksi biodiesel.

Tabel 9. Nilai densitas dari berbagai biodiesel

No	Sumber <i>feedstock</i> yang menghasilkan biodiesel	Densitas biodiesel (gr/ml)	Referensi
1	PFAD	0,879	S. Chongkhong, 2009
2	Minyak biji karet	0,874	Ramadhas, 2004
3	Minyak Mahua	0,880	Ghadge, 2006
4	Soapstock dari kedelai	0,885	Hass, 2005
5	Diesel	0,850	Diesel
6	ASTM D6751-2	0,87 – 0,9	ASTM D6751-2
7	Standar Nasional Indonesia	0,85 – 0,89	SNI 7182: 2015

2. Viskositas

Viskositas adalah penentuan kekentalan dari fluida dengan mengalirkannya ke dalam Viskometer Ostwald. Viskositas biodiesel yang tinggi dapat menyebabkan

kerusakan pada mesin serta membuat atomisasi bahan bakar menjadi kurang baik sehingga menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna. Akan tetapi, viskositas biodiesel terlalu rendah dapat menyebabkan terjadinya pembentukan jelaga.

Penentuan nilai viskositas dapat dilakukan dengan metode buret kaca. Prinsip metode ini didasarkan pada aliran yang melalui pipa dengan volume tertentu yang disebut laju alir. Laju cairan atau waktu yang dibutuhkan untuk mengeluarkan cairan pada buret berbanding terbalik dengan viskositasnya (Igathinathane dkk., 2005).

Tabel 10. Nilai viskositas dari berbagai biodiesel

No	Sumber <i>feedstock</i> yang menghasilkan biodiesel	Viskositas (mm ² /s)	Referensi
1	PFAD	4,87	Chongkhong et al., 2009
2	Minyak biji karet	5,81	Ramadhas et al., 2005
3	Minyak Mahua	3,98	Ghadge & Raheman, 2006
4	Soapstock dari kedelai	4,302	Park et al., 2010
5	Diesel	2,60	Diesel
6	ASTM D6751-2	1,9 - 6,0	ASTM D6751-2
7	Standar Nasional Indonesia	2,3 - 6,0	SNI 7182: 2015

3. Bilangan Penyabunan

Bilangan penyabunan (nilai saponifikasi) berbanding terbalik dengan massa molekul rata-rata dari asam lemak yang terkandung dalam biodiesel. Rantai asam lemak yang pendek (C4-C12) pada biodiesel menyebabkan bilangan penyabunan tinggi pada biodiesel (Adekunle dkk., 2020).

Pengujian bilangan penyabunan dapat dilakukan dengan metode titrasi. Sampel yang telah ditambahkan dengan larutan KOH berlebih dalam alkohol. Penggunaan alkohol bertujuan untuk melarutkan asam lemak hasil hidrolisis. Selain itu, penambahan KOH berlebih ini bertujuan agar trigliserida pada sampel

dapat bereaksi dengan KOH sehingga mengalami pembentukan penyabunan. Alkali yang tidak bereaksi akan dititrasi dengan menggunakan asam, sehingga jumlah alkali dapat diketahui (Ahmad Farid dkk., 2018).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Katalis dapat disintesis dari Batang Eceng Gondok (S-BEG 250, S-BEG 300 dan S-BEG 350) yang dapat diaplikasikan dalam produksi biodiesel dari PFAD. Berdasarkan spektrum FTIR katalis menunjukkan keberadaan gugus sulfonate ($-\text{HSO}_3$) pada daerah bilangan gelombang $1300\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$. Gugus sulfonate identic dengan dua puncak kembar yang merupakan vibrasi simetris dan asimetris.
2. Aktivitas katalitik katalis tertinggi ditunjukkan pada S-BEG 350 dengan %konversi FFA sebesar 59,9% dengan densitasnya 0,867956 gr/ml. Selain itu, didapatkan laju alir pada biodiesel BEG350 sebesar 0,49652433 ml/s. Sedangkan aktivitas katalitik katalis terendah ditunjukkan pada S-BEG 250 dengan %konversi FFA sebesar 44,42%. Densitas dari biodiesel BEG250 sebesar 0,8715224 gr/ml dan didapatkan laju alir biodiesel BEG250 sebesar 0,4876 ml/s.
3. Berdasarkan %konversi FFA pada variasi senyawa alkohol didapatkan bahwa metanol merupakan alkohol yang paling efektif dalam mengkonversi FFA. Efektifitas metanol dalam mengkonversi FFA disebabkan oleh rintang sterik yang rendah. Semakin panjang rantai karbon pada alkohol maka semakin besar rintangan sterik sehingga konversi FFA semakin rendah. Pada biodiesel yang menggunakan metanol, etanol dan isopropil alkohol memiliki %konversi FFA berturut-turut sebesar 59,9%; 48,85%; dan 37,57%. Selain itu, pada spektrum FTIR biodiesel didapatkan pita serapan dari O-C-C pada bilangan gelombang $1200\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan pita serapan yang identic dari senyawa ester

B. Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan aliran nitrogen agar menghasilkan katalis lebih baik. Selain itu, pada karakterisasi karbon dan katalis dapat menggunakan instrumen SEM dan TPD-NH₃. Sedangkan pada karakterisasi pada biodiesel menggunakan GC-MS.

REFERENSI

- 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.egy.2020.10.019>
- Ahmad Farid, M. A., Hassan, M. A., Taufiq-Yap, Y. H., Ibrahim, M. L., Hasan, M. Y., Ali, A. A. M., Othman, M. R., & Shirai, Y. (2018). Kinetic and thermodynamic of heterogeneously K₃PO₄/AC-catalysed transesterification via pseudo-first order mechanism and Eyring-Polanyi equation. *Fuel*, 232(March), 653–658. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.06.029>
- Akinfalabi, S. I., Rashid, U., Choong Shean, T. Y., Nehdi, I. A., Sbihi, H. M., & Gewik, M. M. (2019). Esterification of palm fatty acid distillate for biodiesel production catalyzed by synthesized kenaf seed cake-based sulfonated catalyst. *Catalysts*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/catal9050482>
- Akinfalabi, S. I., Rashid, U., Ngamcharussrivichai, C., & Nehdi, I. A. (2020). Synthesis of reusable biobased nano-catalyst from waste sugarcane bagasse for biodiesel production. *Environmental Technology and Innovation*, 18, 100788. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100788>
- Akinfalabi, S. I., Rashid, U., Yunus, R., & Taufiq-Yap, Y. H. (2017). Synthesis of biodiesel from palm fatty acid distillate using sulfonated palm seed cake catalyst. 6, 111, 611–619. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.056>
- 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>
- Bai, Y. Y., Xiao, L. P., & Sun, R. C. (2014). Efficient hydrolyzation of cellulose in ionic liquid by novel sulfonated biomass-based catalysts. *Cellulose*, 21(4), 2327–2336. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0287-2>
- Barbieri Gonzaga, F., & Pereira Sobral, S. (2012). A new method for determining the acid number of biodiesel based on coulometric titration. *Talanta*, 97, 199–203. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.04.017>
- Cheryl-Low, Y. L., Theam, K. L., & Lee, H. V. (2015). Alginate-derived solid acid catalyst for esterification of low-cost palm fatty acid distillate. *Energy Conversion and Management*, 106, 932–940. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.10.018>
- Chin, L. H., Abdullah, A. Z., & Hameed, B. H. (2012). Sugar cane bagasse as solid catalyst for synthesis of methyl esters from palm fatty acid distillate. *Chemical Engineering Journal*, 183, 104–107. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.12.028>
- Chongkhong, S., Tongurai, C., & Chetpattananondh, P. (2009). Continuous esterification for biodiesel production from palm fatty acid distillate using economical process. *Renewable Energy*, 34(4), 1059–1063. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.07.008>
- Das, N., & Singh, S. (2016). Evaluation of Water Hyacinth Stem Ash As Pozzolanic Material for Use in Blended Cement. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.33736/jcest.150.2016>
- de Oliveira, V. F., Parente, E. J. S., Manrique-Rueda, E. D., Cavalcante, C. L., & Luna, F. M. T. (2020). Fatty acid alkyl esters obtained from babassu oil using

- C1–C8 alcohols and process integration into a typical biodiesel plant. *Chemical Engineering Research and Design*, 160, 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.05.028>
- Dejean, A., Ouédraogo, I. W. K., Mouras, S., Valette, J., & Blin, J. (2017). Shea nut shell based catalysts for the production of ethanolic biodiesel. *Energy for Sustainable Development*, 40, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.07.006>
- El-adawi, H. A. (2011). Fixed-Bed Column Bio-Sorption of Congo Red By Water Hyacinth Stems From Industrial Effluents. *Al-Azhar Bulletin of Science*, 22(Issue 1-A), 113–129. <https://doi.org/10.21608/absb.2011.7183>
- Endang, S. S. (2018). SINTESIS KARBON TERSULFONASI DARI CANGKANG KEMIRI SEBAGAI KATALIS PADA HIDROLISIS SELULOSA TANAMAN ALANG-ALANG (*Imperata cylindrica*) MENJADI GLUKOSA. *Skripsi Universitas Sumatera Utara*.
- Estevez, R., Aguado-Deblas, L., Montes, V., Caballero, A., & Bautista, F. M. (2020). Sulfonated carbons from olive stones as catalysts in the microwave-assisted etherification of glycerol with tert-butyl alcohol. *Molecular Catalysis*, 488(April), 110921. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2020.110921>
- Fadhil, A. B., Aziz, A. M., & Al-Tamer, M. H. (2016). Biodiesel production from *Silybum marianum* L. seed oil with high FFA content using sulfonated carbon catalyst for esterification and base catalyst for transesterification. *Energy Conversion and Management*, 108, 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.11.013>
- 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>
- Ferreira, E. N., Arruda, T. B. M. G., Rodrigues, F. E. A., Arruda, D. T. D., da Silva Júnior, J. H., Porto, D. L., & Ricardo, N. M. P. S. (2019). Investigation of the thermal degradation of the biolubricant through TG-FTIR and characterization of the biodiesel – Pequi (*Caryocar brasiliensis*) as energetic raw material. *Fuel*, 245(February), 398–405. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.02.006>
- Gabriel A. F., Igwemmar N. C., *Sadam A. A., and B. S. A. (2018). Comparative Studies of the Phytochemical and Nutritional Analysis of Water Hyacinths [*Eichhornia crassipes*] Stem and Leaf. *Direct Research Journal of Health and Pharmacology*, 6(May), 12–18. <https://doi.org/10.26765/DRJHP.2018.5893>
- Ghadge, S. V., & Raheman, H. (2006). Process optimization for biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil using response surface methodology. *Bioresource Technology*, 97(3), 379–384. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.014>
- Guo, F., & Fang, Z. (2011). Biodiesel Production with Solid Catalysts. *Biodiesel - Feedstocks and Processing Technologies*. <https://doi.org/10.5772/25602>
- Hanh, H. D., Dong, N. T., Okitsu, K., Nishimura, R., & Maeda, Y. (2009). Biodiesel production by esterification of oleic acid with short-chain alcohols under ultrasonic irradiation condition. *Renewable Energy*, 34(3), 780–783. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.001>

- Hassan, N. A. s. A., Mohtar, N. A., Fauzi, S. H. M., Kian, Y. S., Hassan, H. A., & Idris, Z. (2017). Synthesis of dimerate esters by solvent-free method. *Journal of Oil Palm Research*, 29(1), 110–119. <https://doi.org/10.21894/jopr.2017.2901.12>
- Ibrahim, N. A., Rashid, U., Taufiq-Yap, Y. H., Yaw, T. C. S., & Ismail, I. (2019). Synthesis of carbonaceous solid acid magnetic catalyst from empty fruit bunch for esterification of palm fatty acid distillate (PFAD). *Energy Conversion and Management*, 195(May), 480–491. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.022>
- Ibrahim, S. F., Asikin-Mijan, N., Ibrahim, M. L., Abdulkareem-Alsultan, G., Izham, S. M., & Taufiq-Yap, Y. H. (2020a). 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>
- Ibrahim, S. F., Asikin-Mijan, N., Ibrahim, M. L., Abdulkareem-Alsultan, G., Izham, S. M., & Taufiq-Yap, Y. H. (2020b). 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>
- Igathinathane, C., Pordesimo, L. O., Womac, A. R., Malleswar, V. K., & Rao, U. A. (2005). Viscosity measurement technique using standard glass burette for newtonian liquids. *Instrumentation Science and Technology*, 33(1), 101–125. <https://doi.org/10.1081/CI-200040881>
- 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>
- Juárez-Luna, G. N., Favela-Torres, E., Quevedo, I. R., & Batina, N. (2019). Enzymatically assisted isolation of high-quality cellulose nanoparticles from water hyacinth stems. *Carbohydrate Polymers*, 220(May), 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.058>
- Kefas, H. M., Yunus, R., Rashid, U., & Taufiq-Yap, Y. H. (2019). Enhanced biodiesel synthesis from palm fatty acid distillate and modified sulfonated glucose catalyst via an oscillation flow reactor system. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(2), 102993. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.102993>
- Khan, A. M., & Fatima, N. (2015). Synthesis of biodiesel from the oily content of marine green alga *Ulva fasciata*. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 37(5), 1040–1046.
- Konwar, L. J., Das, R., Thakur, A. J., Salminen, E., Mäki-Arvela, P., Kumar, N., Mikkola, J. P., & Deka, D. (2014). Biodiesel production from acid oils using sulfonated carbon catalyst derived from oil-cake waste. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 388–389, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2013.09.031>
- L. A. Sanchez-Olmos, J. Medina-Valtierra, K. Sathish-Kumar, and M. S. C. (2016). Sulfonated Char From Waste Tire Rubber Used as Strong Acid Catalyst for

- Biodiesel Production. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 1–8. <https://doi.org/10.1002/ep>
- Laohapornchaiphan, J., Smith, C. B., & Smith, S. M. (2017). One-step Preparation of Carbon-based Solid Acid Catalyst from Water Hyacinth Leaves for Esterification of Oleic Acid and Dehydration of Xylose. *Chemistry - An Asian Journal*, 12(24), 3178–3186. <https://doi.org/10.1002/asia.201701369>
- Lokman, I. M., Rashid, U., & Taufiq-Yap, Y. H. (2016). Meso- and macroporous sulfonated starch solid acid catalyst for esterification of palm fatty acid distillate. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(2), 179–189. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.06.034>
- 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>
- Ma, G., Dai, L., Liu, D., & Du, W. (2018). A robust two-step process for the efficient conversion of acidic soybean oil for biodiesel production. *Catalysts*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/catal8110527>
- Mardhiah, H. H., Ong, H. C., Masjuki, H. H., Lim, S., & Pang, Y. L. (2017). Investigation of carbon-based solid acid catalyst from *Jatropha curcas* biomass in biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 144, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.038>
- Mateo, W., Lei, H., Villota, E., Qian, M., Zhao, Y., Huo, E., Zhang, Q., Lin, X., Wang, C., & Huang, Z. (2020). Synthesis and characterization of sulfonated activated carbon as a catalyst for bio-jet fuel production from biomass and waste plastics. *Bioresource Technology*, 297, 122411. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122411>
- Morgan, N. K., & Choct, M. (2016). Cassava: Nutrient composition and nutritive value in poultry diets. *Animal Nutrition*, 2(4), 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2016.08.010>
- Mostafa, S. S. M., & El-Gendy, N. S. (2017). Evaluation of fuel properties for microalgae *Spirulina platensis* bio-diesel and its blends with Egyptian petrodiesel. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S2040–S2050. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.034>
- Nisar, J., Razaq, R., Farooq, M., Iqbal, M., Khan, R. A., Sayed, M., Shah, A., & Rahman, I. ur. (2017). Enhanced biodiesel production from *Jatropha* oil using calcined waste animal bones as catalyst. *Renewable Energy*, 101(January 2018), 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.048>
- 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>
- Nurhasanah, A., Isnietti, & Sofjeni, E. (2009). *Kimia Organik Fisik*.
- Park, J. Y., Wang, Z. M., Kim, D. K., & Lee, J. S. (2010). Effects of water on the esterification of free fatty acids by acid catalysts. *Renewable Energy*, 35(3), 614–618. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.08.007>

- Pattra, S., & Sittijunda, S. (2017). Biohydrogen productions from hydrolysate of water Hyacinth Stem (*Eichhornia crassipes*) using anaerobic mixed cultures. *Sains Malaysiana*, 46(1), 51–58. <https://doi.org/10.17576/jsm-2017-4601-07>
- Rahman, A., Putra, A., Sanjaya, H., Dewata, I., Dj, L., Sundari, R., Nizar, K. (2019). Catalytic Activity of Reused SiO₂-TiO₂ on Biodiesel Production from Waste Cooking Oil in Various of Catalyst Loading. *International Journal of Research and Review*, 6(8), 86–93.
- Rahman, M. A., & Aziz, M. A. (2021). Biodiesel from water hyacinth biomass and its influence on CI engine performance, emission, combustion and heat loss characteristics with the induction of hydroxy. *Energy*, 224, 120151. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120151>
- Ramadhas, A. S., Jayaraj, S., & Muraleedharan, C. (2005). Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Fuel*, 84(4), 335–340. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.09.016>
- Riyanto, C. A., Prabalaras, E., & Martono, Y. (2020). KARAKTERISASI NANOPARTIKEL KARBON AKTIF DARI DAUN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) BERDASARKAN VARIASI SUHU DAN WAKTU AKTIVASI. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 42(2), 85. <https://doi.org/10.24817/jkk.v42i2.5633>
- Rocha, P. D., Oliveira, L. S., & Franca, A. S. (2019a). Sulfonated activated carbon from corn cobs as heterogeneous catalysts for biodiesel production using microwave-assisted transesterification. *Renewable Energy*, 143, 1710–1716. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.070>
- Rocha, P. D., Oliveira, L. S., & Franca, A. S. (2019b). Sulfonated activated carbon from corn cobs as heterogeneous catalysts for biodiesel production using microwave-assisted transesterification. *Renewable Energy*, 143, 1710–1716. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.070>
- Rosset, M., & Perez-Lopez, O. W. (2019). FTIR spectroscopy analysis for monitoring biodiesel production by heterogeneous catalyst. *Vibrational Spectroscopy*, 105(June), 102990. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2019.102990>
- Saeed, R. H. S., Kassem, Y., & Çamur, H. (2019). Cooking Oils with Various Ages on. *Energies*, 12(19).
- Sangar, S. K., Lan, C. S., Razali, S. M., Farabi, M. S. A., & Taufiq-Yap, Y. H. (2019a). 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., Lan, C. S., Razali, S. M., Farabi, M. S. A., & Taufiq-Yap, Y. H. (2019b). 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>
- Saxena, P., Jawale, S., & Joshipura, M. H. (2013). A review on prediction of properties of biodiesel and blends of biodiesel. *Procedia Engineering*, 51(NUiCONE 2012), 395–402. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.055>
- Shuit, S. H., & Tan, S. H. (2019). Esterification of palm fatty acid distillate with methanol via single-step pervaporation membrane reactor: A novel biodiesel

- production method. *Energy Conversion and Management*, 201(September), 112110. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112110>
- Sinaga, F. H. (2021). SINTESIS FURFURAL DARI SEMBUNG RAMBAT MENGGUNAKAN KATALIS KARBON TERSULFONASI BERASAL DARI CANGKANG KEMIRI. *Skripsi Universitas Sumatera Utara*.
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Sharma, S., & Kumari, D. (2019). Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels: A review. *Fuel*, 253(March), 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.174>
- Soltani, S., Rashid, U., Yunus, R., & Taufiq-Yap, Y. H. (2016). Biodiesel production in the presence of sulfonated mesoporous ZnAl₂O₄ catalyst via esterification of palm fatty acid distillate (PFAD). *Fuel*, 178(March), 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.03.059>
- Syahrizal, C., W, D. A. A., Asri, N. P., Kimia, J. T., Teknik, F., & Supratman, U. W. R. (2021). *Pemanfaatan Limbah Tulang Ikan sebagai Katalis pada Proses Transesterifikasi Palm Fatty Acid Distillate menjadi Biodiesel Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri*. 120–127.
- 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>
- Thuppati, U. R., Choi, C., Machida, H., & Norinaga, K. (2021). A comprehensive study on butanolysis of furfuryl alcohol to butyl levulinate using tungstated zirconia and sulfonated carbon catalysts. *Carbon Resources Conversion*, 4(March), 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2021.03.003>
- Wan, Z., Lim, J. K., & Hameed, B. H. (2015). Chromium-tungsten heterogeneous catalyst for esterification of palm fatty acid distillate to fatty acid methyl ester. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 54, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.03.020>
- Wanchai, K., & Soyjit, K. (2016). Esterification of Oleic Acid Using a Carbon-Based Solid Acid Catalyst. *The 5th Burapha University International Conference 2016*, 243–250.
- Wang, Y. T., Yang, X. X., Xu, J., Wang, H. L., Wang, Z. B., Zhang, L., Wang, S. L., & Liang, J. L. (2019). Biodiesel production from esterification of oleic acid by a sulfonated magnetic solid acid catalyst. In *Renewable Energy* (Vol. 139). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.111>
- Wu, L., Hu, X., Wang, S., Mahmudul Hasan, M. D., Jiang, S., Li, T., & Li, C. Z. (2018). Acid-treatment of bio-oil in methanol: The distinct catalytic behaviours of a mineral acid catalyst and a solid acid catalyst. *Fuel*, 212, 412–421. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.10.049>
- Yuliasari, N., Miksusanti, M., & Dian, D. (2010). Studi Penyerapan Procion pada Limbah Kain Tajung Menggunakan Serbuk Batang Eceng Gondok. *Jurnal Penelitian Sains*, 13(2).
- Zhang, B., Gao, M., Geng, J., Cheng, Y., Wang, X., Wu, C., Wang, Q., Liu, S., & Cheung, S. M. (2021). Catalytic performance and deactivation mechanism of a one-step sulfonated carbon-based solid-acid catalyst in an esterification reaction. *Renewable Energy*, 164, 824–832. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.076>

- Zhang, C., Ma, X., Chen, X., Tian, Y., Zhou, Y., Lu, X., & Huang, T. (2020). Conversion of water hyacinth to value-added fuel via hydrothermal carbonization. *Energy*, 197, 117193. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117193>
- Zhang, Q., Weng, C., Huang, H., Achal, V., & Wang, D. (2016). Optimization of bioethanol production using whole plant of water hyacinth as substrate in simultaneous saccharification and fermentation process. *Frontiers in Microbiology*, 6(JAN), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01411>
- Zhang, T., Li, W., Jin, Y., & Ou, W. (2020). Synthesis of sulfonated chitosan-derived carbon-based catalysts and their applications in the production of 5-hydroxymethylfurfural. *International Journal of Biological Macromolecules*, 157, 368–376. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.148>
- Zhou, Z., Zhang, X., Yang, F., & Zhang, S. (2019). Polymeric carbon material from waste sulfuric acid of alkylation and its application in biodiesel production. *Journal of Cleaner Production*, 215, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.279>
- Zhu, F. (2015). Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 122, 456–480. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.10.063>