

**AKTIVITAS KATALITIK DARI KATALIS KARBON BIJI
ALPUKAT (*Persea americana mill*) TERSULFONASI
DALAM REAKSI ESTERIFIKASI *Palm Fatty Acid Distilate***



**DIANA WULANDARI
NIM.17036049/2017**

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

**AKTIVITAS KATALITIK DARI KATALIS KARBON BIJI
ALPUKAT (*Persea americana mill*) TERSULFONASI
DALAM REAKSI ESTERIFIKASI *Palm Fatty Acid Distilate***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarja Sains



**Oleh:
DIANA WULANDARI
NIM.17036049/2017**

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

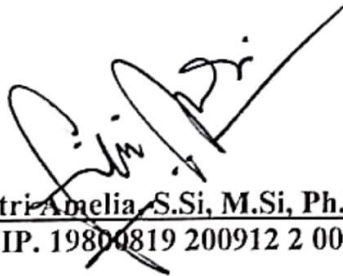
PERSETUJUAN SKRIPSI

AKTIVITAS KATALITIK DARI KATALIS KARBON BIJI ALPUKAT (*Persea americana mill*) TERSULFONASI DALAM REAKSI ESTERIFIKASI *Palm Fatty Acid Distilate*

Nama : Diana Wulandari
NIM : 17036049
Program Studi : Kimia (NK)
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2021

Mengetahui:
Ketua Jurusan


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

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing


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

PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

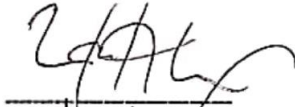
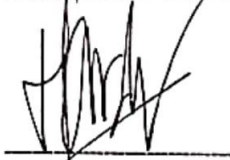
Nama : Diana Wulandari
NIM : 17036049
Program Studi : Kimia (NK)
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

AKTIVITAS KATALITIK DARI KATALIS KARBON BIJI ALPUKAT (*Persea americana mill*) TERSULFONASI DALAM REAKSI ESTERIFIKASI *Palm Fatty Acid Distillate*

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

Padang, Agustus 2021

Tim Penguji

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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

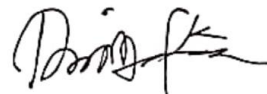
Nama : Diana Wulandari
NIM : 17036049
Tempat/Tanggal lahir : Pasa Dama/ 03 September 1997
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : **Aktivitas Katalitik dari Katalis Karbon Biji Alpukat (*Persea americana mill*) Tersulfonasi dalam Reaksi Esterifikasi Palm Fatty Acid Distilate**

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, Agustus 2021
Yang menyatakan



Diana Wulandari
NIM : 17036049

Aktivitas Katalitik dari Katalis Karbon Biji Alpukat (*Persea americana mill*) Tersulfonasi dalam Reaksi Esterifikasi *Palm Fatty Acid Distilate*

Diana Wulandari

ABSTRAK

Katalis merupakan suatu materi bukan reaktan yang memiliki peran penting dalam mempercepat laju reaksi untuk mengkonversi bahan baku menjadi biodiesel. Katalis karbon tersulfonasi cocok digunakan untuk bahan baku yang mengandung *Free Fatty Acid* (FFA) yang tinggi seperti *Palm Fatty Acid Distilate*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas katalitik dari katalis karbon biji alpukat tersulfonasi dalam produksi biodiesel menggunakan *Palm Fatty Acid Distilate*. Sintesis katalis karbon tersulfonasi dikerjakan dengan metoda kalsinasi dan sulfonasi. Proses kalsinasi dilakukan pada variasi suhu 250°C, 300°C dan 350°C, selama 1 jam, kemudian dilanjutkan dengan proses sulfonasi menggunakan H₂SO₄ pada suhu 160°C selama 4jam. Analisa stabilitas termal digunakan *Thermografimetric Analysis* (TGA), karakterisasi katalis dan biodiesel dengan menggunakan *Fourier Transform-Infra Red* (FTIR), serta dilakukan perhitungan luas area pita vibrasi SO₂ dan vibrasi eter pada FTIR. Untuk mengetahui aktivitas katalitik dari katalis dilakukan analisis pada biodiesel seperti, uji densitas, bilangan asam dan laju alir. Analisa dengan FTIR pada katalis muncul pita serapan pada bilangan gelombang 1300-1000cm⁻¹ menunjukkan keberadaan SO₂ dari gugus sulfonat. Pada spektrum biodiesel terdapat pita serapan dengan bilangan gelombang 1250-1000cm⁻¹ menunjukkan keberadaan ikatan C-O-C dari ester. Hasil menunjukkan KS30 memiliki situs asam dan luas area vibrasi SO₂ terbesar pada FTIR. Aktivitas katalitik tertinggi ditunjukkan oleh BKS30 dengan konversi FFA menjadi biodiesel mencapai 97,56%. Densitas didapat 0,83946 g/mL, laju alir 0,58 mL/s dan nilai bilangan asam yang dihasilkan adalah 8,96 mgKOH/g.

Kata kunci: aktivitas katalitik, esterifikasi, tersulfonasi, PFAD, suhu kalsinasi.

Activities Catalytic from Catalysts Carbon Avocado seed (*Persea americana* mill) Sulfonated of Esterification Reaction from Palm Fatty Acid Distilate

Diana Wulandari

ABSTRACT

Catalyst is a non-reactant material that has an important role in accelerating the reaction rate to convert raw materials into biodiesel. Carbon sulfonated catalysts are suitable for raw materials with a high level of free fatty acid (FFA), such as Palm Fatty Acid Distilate. The calcination and sulfonation procedures were used to make the sulfonated carbon catalyst. Calcination takes place at temperatures of 250°C, 300°C, and 350°C for 1 hour, followed by 4 hours of sulfonation with H₂SO₄ at 160°C. The thermal analysis used Thermogravimetric Analysis (TGA), Fourier Transform Infrared (FTIR) characterization of catalysts and biodiesel, then calculation of the area SO₂ vibrations and ester vibrations. To determine the activity of the catalytic of catalyst, perform biodiesel analysis such as density, acid number, and flow rate. FTIR analysis of the catalyst have vibrations area with a wave number of 1250-1000 cm⁻¹, which shows the C-O-C bond of the ester. In FTIR, the results show KS30 has the largest acid site and SO₂ vibration area. BKS30 had the highest catalytic activity, with a conversion of FFA to biodiesel is 97,56 %. The density was 0,83946 g/mL. The flow rate was 0,56 mL/s, and the acid number is 8,96 mgKOH/g.

Keywords: calcination temperature, catalytic activity, esterification, sulfonated, PFAD.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan kesabaran kepada penulis dalam menyelesaikan Skripsi dengan judul “**Aktivitas Katalitik dari Katalis Karbon Biji Alpukat (*Persea americana mill*) Tersulfonasi dalam Reaksi Esterifikasi *Palm Fatty Acid Distilate*”**. 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 terimakasih yang tulus kepada:

1. Bapak Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D selaku Dosen Pembimbing sekaligus Penasehat Akademik.
2. Bapak Dr. Hardeli, M.Si, dan Ibu Dra. Sri Benti Etika M.Si, selaku Dosen Penguji.

Penulisan skripsi ini, penulis berpedoman kepada buku Panduan Penulisan Skripsi Non Kependidikan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Untuk kesempurnaan skripsi ini, maka penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis mengucapkan terimakasih.

Padang, Agustus 2021

Diana Wulandari

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
A.Latar Belakang	1
B.Identifikasi Masalah	4
C.Batasan Masalah.....	5
D.Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A.Biodiesel.....	7
B.Katalis pada Produksi Biodiesel.....	9
C.Kalsinasi Biji Alpukat	11
D.Sulfonasi Karbon.....	12
E. PFAD	13
F. Karakterisasi Katalis	14
G.Sifat-sifat Biodiesel.....	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
A.Waktu dan Tempat Penelitian	19
B. Variabel Penelitian	19
C.Bahan dan Alat	19
D.Prosedur Penelitian.....	20
E. Desain Penelitian.....	25

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
A.Sifat Fisikokimia dari Katalis Karbon Biji Alpukat Tersulfonasi.....	26
B.Aktivitas Katalitik Dari Katalis Karbon Biji Alpukat Tersulfonasi.....	33
BAB V PENUTUP.....	41
A.Kesimpulan	41
B.Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Reaksi Esterifikasi pada Produksi Biodiesel.....	8
2. Reaksi Transesterifikasi pada Produksi Biodiesel	8
3. Spektrum FTIR HTC dan HTC-S	14
4. Termogravimetri (a) p-MWCNT, (b) o-MWNT	16
5. Spektra TGA sampel Biji Alpukat	27
6. Spektra DTA sampel Biji Alpukat	27
7. Spektra FTIR karbon dan katalis karbon biji alpukat tersulfonasi.....	29
8. (a). Pita Vibrasi SO_2 dalam FTIR, (b). perhitungan area SO_2 dengan origin (c). penimbangan kertas	31
9. Situs asam dari katalis Biji Alpukat Tersulfonasi	32
10. Spektrum FTIR bahan baku VS produk.....	35
11. Biodiesel dari Variasi Suhu Kalsinasi.....	36
12. Densitas Biodiesel.....	37
13. Laju alir biodiesel.....	38
14. Nilai bilangan asam biodiesel	39
15. Konversi FFA PFAD menjadi Biodiesel	40
16. (a). Pita Vibrasi Ester dan (b) perhitungan daerah vibrasi ester	41

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik biodiesel dari PFAD	13
2. Penamaan Katalis Karbon Biji Alpukat Tersulfonasi	21
3. Penamaan produk biodiesel.....	23
4. Perbandingan situs asam karbon biji alpukat sebelum dan sesudah sulfonasi.....	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Alir Penelitian	47
2. Data dan Perhitungan Hasil Uji Situs Asam Katalis.....	54
3. Data dan perhitungan sampel PFAD.....	54
4. Perhitungan Perbandingan Rasio PFAD: Metanol dan katalis	56
5. Data dan Perhitungan Hasil Uji Sifat Fisika Biodiesel	57
6. Perhitungan Semi Kuantitatif.....	62
7. Spketra FTIR dari Karbon dan Katalis	65
8. Foto Kegiatan Penelitian	68

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Katalis merupakan materi bukan reaktan yang mempercepat laju reaksi kimia dengan menurunkan energi aktivasi, materi ini tidak mengubah posisi kesetimbangan termodinamika, dan diregenerasi kembali diakhir reaksi. Secara umum katalis dibagi dalam dua kelompok yaitu katalis homogen dan katalis heterogen (Dumbre & Choudhary, 2020). Aktivitas katalis homogen lebih tinggi dari katalis heterogen karena katalis homogen bercampur dengan reaktan yang akan dikatalisis (Kefas et al., 2019). Pada katalis homogen setiap unit katalitik tunggal dapat bertindak sebagai satu situs aktif. Hal ini yang menyebabkan aktivitas dan selektivitas katalis homogen lebih tinggi dari katalis heterogen (Wei et al., 2009).

Beberapa kelemahan katalis homogen menyebabkannya tidak berkembang seperti katalis heterogen. Kelemahan mendasar adalah sulitnya proses pemisahan katalis dengan produk yang dihasilkan (Bastos et al., 2020). Akibatnya, proses pemisahan katalis dengan produk tidak sederhana, memerlukan sejumlah air untuk pencucian dan zat kimia untuk menyerap air yang tersisa dalam produk. Hal ini menimbulkan kelemahan berikutnya yaitu tidak ekonomis dan menghasilkan limbah dari proses pencucian. Jika katalis masih tersisa dalam produk dapat menyebabkan korosi terhadap mesin (Lim et al., 2020; Shan et al., 2018).

Katalis heterogen memiliki fasa yang berbeda dengan reaktan yang dikatalisis dan produk yang dihasilkan (Dumbre & Choudhary, 2020). Oleh sebab itu, katalis ini mudah dipisahkan dan dapat diregenerasi kembali (Bastos et al., 2020). Aktivitas

katalitik dari katalis heterogen relatif lebih rendah karena kurangnya kepadatan situs aktif dalam katalis (Lokman et al., 2015). Upaya untuk meningkatkan aktivitas katalitik dilakukan dengan melakukan modifikasi permukaan katalis atau melakukan desain katalis sesuai dengan zat yang akan dikatalisis (Weng & Zaera, 2014).

Katalis heterogen umumnya berupa padatan yang terdiri dari katalis asam padat dan basa padat. Penggunaan katalis asam padat atau basa padat tergantung pada jenis material yang akan dikatalisis. Katalis basa padat dapat berupa oksida logam alkali tanah, oksida logam transisi dan komposit oksida logam (Talha & Sulaiman, 2016). Katalis asam padat dapat berasal dari sifat alami katalis (zeolite), oksida biner ($\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$) (Nizar et al., 2013), dan sulfonasi (karbon tersulfonasi) (Farabi et al., 2019). Diantara katalis heterogen ini katalis karbon tersulfonasi sangat potensial dikembangkan di Indonesia karena sumber karbonnya dapat dihasilkan dari limbah-limbah organik.

Katalis karbon tersulfonasi adalah suatu katalis heterogen yang disintesis melalui proses karbonisasi dan sulfonasi. Proses karbonisasi dilakukan dengan kalsinasi atau pirolisis sehingga diperoleh karbon hasil pembakaran yang tidak sempurna. Sulfonasi adalah proses substitusi gugus sulfonat ($-\text{SO}_3\text{H}$) kedalam struktur karbon polisiklik aromatik sehingga terdapat pusat aktif asam pada permukaan karbon (Cai et al., 2015; Garg et al., 2014). Sumber karbon dapat berasal dari limbah organik yang mengandung pati, glukosa, selulosa dan lignin seperti cangkang sawit, bambu, batok kelapa (Garg et al., 2014).

Katalis karbon tersulfonasi telah dilaporkan sangat efektif untuk reaksi esterifikasi PFAD menjadi biodiesel. Beberapa katalis karbon tersulfonasi yang telah dilaporkan seperti katalis karbon cangkang sawit tersulfonasi dan bambu tersulfonasi disintesis selama 4 jam dengan suhu dibawah 70°C. Kedua katalis menunjukkan aktifitas katalitik yang tinggi dalam mengkonversi PFAD menjadi biodiesel pada penggunaan katalis 4wt%, rasio molar metanol ke PFAD dipakai 15:1, selama 1 jam pada suhu 65°C (Farabi et al., 2019). Katalis karbon tersulfonasi dari pati murni dilaporkan disintesis melalui proses karbonisasi dengan suhu 400°C selama 12 jam dan disulfonasi selama 4 jam. Katalis menunjukkan aktivitas katalitik yang tinggi dalam mengkonversi PFAD menjadi biodiesel dengan massa katalis 2%, dan rasio molar metanol ke PFAD adalah 10:1 waktu reaksi 3 jam suhu 75°C (Lokman, 2015).

Biji alpukat merupakan limbah organik padat yang memiliki kandungan pati yang tinggi yaitu sebesar 30% dari 80% total karbohidrat (Araújo et al., 2018). Tingginya kandungan pati biji alpukat memberikan peluang untuk dimanfaatkan sebagai sumber karbon. Penggunaan biji alpukat sebagai sumber karbon untuk sintesis katalis asam padat berbasis karbon tersulfonasi sudah dimulai dalam grup penelitian ini. Penelitian yang telah dilakukan adalah variasi suhu sulfonasi dilakukan oleh Lidia, dengan variasi waktu sulfonasi 2, 4, 6, 8, 10jam dan aplikasi kondisi optimum pada produksi biodiesel dari katalis karbon biji alpukat tersulfonasi oleh Amelia dengan variasi katalis 2%-6%, dan oleh Nawirus optimasi rasio mol metanol ke PFAD dari 3:1-15:1.

Berdasarkan uraian diatas, maka dalam penelitian ini akan dilanjutkan dengan optimasi suhu kalsinasi dari katalis karbon biji alpukat tersulfonasi. Kalsinasi

dilakukan pada variasi suhu 250°C, 300°C dan 350°C. Kemudian dilanjutkan sulfonasi menggunakan H₂SO₄ pada suhu 160°C dengan waktu reaksi selama 4 jam. Uji aktivitas katalitik dari katalis karbon tersulfonasi dilakukan melalui reaksi esterifikasi PFAD untuk pembentukan biodiesel. Analisis termal sampel dilakukan dengan TGA (*Thermogravimetric Analysis*). Karakterisasi katalis menggunakan FTIR (*Fourier Transform-Infra Red*), serta diaplikasikan dalam produksi biodiesel dengan PFAD. Biodiesel yang dihasilkan diuji densitas, bilangan asam, dan laju alir.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Katalis adalah materi yang digunakan untuk mempercepat laju reaksi dalam pembentukan biodiesel.
2. Katalis heterogen berbasis karbon tersulfonasi cocok digunakan dalam produksi biodiesel secara esterifikasi dengan bahan baku PFAD.
3. Limbah biji alpukat dapat dijadikan sumber karbon dalam sintesis katalis asam padat tersulfonasi.
4. Suhu kalsinasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi dalam pembuatan karbon untuk katalis karbon tersulfonasi, sehingga perlu adanya optimasi suhu kalsinasi.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Katalis karbon biji alpukat tersulfonasi disintesis melalui variasi suhu kalsinasi (250°C , 300°C , 350°C) dilanjutkan proses sulfonasi dengan merendam karbon pada H_2SO_4 .
2. Karakterisasi sifat fisikokimia katalis karbon biji alpukat dilakukan dengan menggunakan instrumen TGA, FTIR, dan Penentuan situs asam.
3. Aktivitas katalitik katalis karbon biji alpukat tersulfonasi dilihat melalui aplikasi reaksi esterifikasi dalam produksi biodiesel menggunakan PFAD dan metanol.
4. Uji Aktivitas katalitik katalis pada biodiesel dibatasi pada uji densitas, bilangan asam dan laju alir.

D. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh suhu kalsinasi biji alpukat terhadap sifat fisikokimia katalis karbon biji alpukat tersulfonasi?
2. Bagaimanakah aktivitas katalitik dari katalis karbon biji alpukat tersulfonasi dalam produksi biodiesel?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Menjelaskan pengaruh suhu kalsinasi biji alpukat terhadap sifat fisikokimia katalis karbon biji alpukat tersulfonasi.
2. Menjelaskan bagaimana aktivitas katalitik dari katalis karbon biji alpukat tersulfonasi dalam produksi biodiesel.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari Penelitian ini yaitu:

1. Memberikan informasi dan dapat mengetahui pengaruh suhu kalsinasi biji alpukat terhadap sifat fisikokimia katalis karbon biji alpukat tersulfonasi.
2. Memberikan informasi dan dapat mengetahui bagaimana aktivitas katalitik dari katalis karbon biji alpukat tersulfonasi dalam produksi biodiesel.

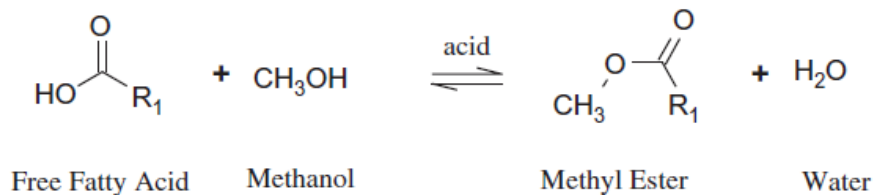
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

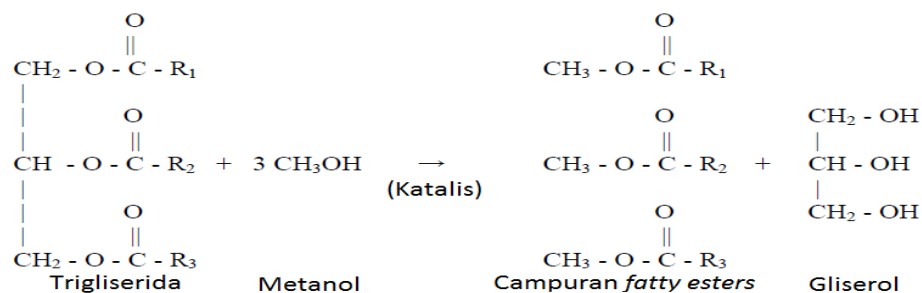
A. Biodiesel

Istilah biodiesel pertama kali diperkenalkan di Amerika Serikat oleh badan *National Bio Diesel Board* pada tahun 1992. Terdaftar di Badan Perlindungan Lingkungan sebagai aditif bahan bakar, bahan bakar murni dan bahan bakar hukum bagi perdagangan, kemudian dipatenkan oleh Standar Amerika sebagai pengujian dan material (ASTM) dengan kode 6751 (Talha & Sulaiman, 2016). Biodiesel dapat dijadikan sebagai sumber alternatif pengganti bahan bakar fosil karena memiliki kelebihan seperti, sifatnya yang terbarukan, mampu diurai secara alami sehingga lebih ramah lingkungan (Lamba et al., 2018), tidak beracun, emisi gas rumah kaca rendah (Fan et al., 2019). Biodiesel bisa digunakan dalam bentuk murni maupun dicampurkan dengan bahan bakar dari fosil seperti solar (Talha & Sulaiman, 2016).

Biodiesel (*Fatty Acid Methyl Ester*) terdiri dari asam lemak rantai panjang (Sangar et al., 2019), dibuat melalui reaksi esterifikasi dan transterifikasi. Reaksi esterifikasi merupakan metode produksi biodiesel menggunakan asam lemak bebas direaksikan dengan alkohol seperti metanol dan menggunakan katalis asam, membentuk asam lemak metil ester dan air (Lokman et al., 2015). Reaksi esterifikasi dan transesterifikasi biodiesel secara umum ditunjukkan oleh Gambar 1 dan 2. Reaksi transesterifikasi merupakan metode produksi biodiesel menggunakan trigliserida pada minyak atau lemak direaksikan dengan alkohol dan katalis, menghasilkan alkil ester dan gliserol (Talha & Sulaiman, 2016).



Gambar 1. Reaksi Esterifikasi pada Produksi Biodiesel (Lokman et al., 2014).



Gambar 2. Reaksi Transesterifikasi pada Produksi Biodiesel (Lokman et al., 2014).

Penggunaan kedua reaksi diatas didasarkan pada jumlah asam lemak bebas yang dikandung oleh bahan baku minyak yang dipakai. Produksi biodiesel dapat dilakukan secara transesterifikasi pada bahan baku minyak yang mengandung $\leq 0,5$ % asam lemak bebas (FFA). Untuk minyak yang mengandung asam lemak bebas $\geq 0,5\%$ dapat digunakan reaksi esterifikasi dan reaksi transesterifikasi (Mirab et al., 2020). Alkohol yang digunakan pada pembuatan biodiesel umumnya adalah metanol, tetapi ada juga menggunakan etanol atau propanol. Penggunaan metanol pada produksi biodiesel akan membentuk ester monoalkil, sehingga biodiesel disebut sebagai asam lemak metil ester atau *fatty acid methyl ester* (FAME). Rantai asam lemak dan alkohol yang digunakan mempengaruhi FAME yang dihasilkan. Katalis

yang digunakan adalah katalis heterogen atau katalis homogen, berfungsi untuk mempercepat berlangsungnya laju reaksi (Sangar et al., 2019).

B. Katalis pada Produksi Biodiesel

Katalis adalah suatu zat yang dapat mempercepat laju reaksi kimia tanpa mengubah posisi kesetimbangan termodinamika dan tanpa adanya perubahan kimiawi di akhir reaksi (Dumbre & Choudhary, 2020). Berdasarkan fasa katalis untuk pembuatan biodiesel dibagi atas katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen merupakan katalis yang memiliki fasa sama dengan reaktan dan produk (Kefas et al., 2019).

Katalis homogen terbagi atas katalis asam homogen dan basa homogen. Katalis asam homogen seperti asam heteropoli, silika asam, polimer asam, resin, yang termasuk kedalam katalis asam padat homogen telah banyak diterapkan dalam perkembangan produksi biodiesel, baik dalam reaksi transesterifikasi maupun esterifikasi (Aboelhassan et al., 2017). Kekurangan katalis asam homogen adalah sulit dipisahkan, menghasilkan banyak limbah hasil pencucian dan sifat yang korosif ketika digunakan pada reaktor (Shan et al., 2018).

Katalis asam heterogen dipilih sebagai pengganti katalis homogen, karena memiliki kelebihan seperti mudah dipisahkan, dapat digunakan kembali, tingkat korosi lebih sedikit dan lebih ramah lingkungan (Shan et al., 2018). Katalis asam heterogen terbagi menjadi, katalis basa padat seperti golongan alkali tanah, oksida logam transisi komposit logam transisi dan katalis asam padat terdiri dari katalis berbasis karbon tersulfonasi, katalis berbasis algiat dan katalis berbasis oksida logam transisi (Talha & Sulaiman, 2016).

Pada katalis asam padat, gugus fungsi asam terikat pada fasa padat mengkatalis sebuah reaksi dengan menghasilkan ion H^+ . Ion H^+ bersifat tetap pada fase padat dan tidak melarut kedalam fase cair yang mengandung campuran reaksi. Hal ini membuat pemisahan katalis padat dari produk cair menjadi lebih mudah (Lamba et al., 2018). Katalis asam padat berbasis karbon tersulfonasi merupakan katalis yang dihasilkan dari substitusi gugus sulfonat ($-SO_3H$) kedalam gugus karbon polisiklik aromatik. Karbon yang digunakan sebagai prekursor katalis memiliki aktivitas katalitik yang rendah, untuk itu substitusi dari gugus sulfonate ($-SO_3H$) dari kedalam struktur karbon akan meningkatkan aktivitas katalitik katalis (Hidayat et al., 2015). Sumber karbon dapat berasal dari biomassa yang banyak mengandung pati, glukosa, selulosa dan lignin seperti cangkang sawiti, bambu, batok kelapa dan lainnya.

Penggunaan limbah biomassa sebagai sumber karbon memiliki keuntungan seperti, terbarukan, biayanya murah, tersedia dalam jangka panjang, dan karbon yang dihasilkan memiliki struktur berpori dengan spesi yang tinggi (Wong et al., 2020). Katalis karbon tersulfonasi dapat digunakan untuk semua jenis bahan baku yang mengandung FFA tinggi, tidak terjadi saponifikasi membuat katalis ini cocok digunakan dalam pembuatan biodiesel secara esterifikasi (Silva et al., 2020). Selain itu, katalis karbon tersulfonasi memiliki aktivitas katalitik yang tinggi, biaya pemrosesan relatif rendah (Bastos et al., 2020), dapat menjadi pemecahan masalah dalam pemisahan yang berkaitan dengan katalis homogen (Farabi et al., 2019).

C. Kalsinasi Biji Alpukat

Kalsinasi adalah proses penguraian material atau molekul organik pada temperatur tinggi dengan ada udara atau tanpa adanya udara (dalam suasana inert). Karbonisasi merupakan dekomposisi termal dari bahan karbon menghilangkan spesies non karbon sehingga menghasilkan massa karbon yang tetap dengan struktur berpori (Julius, 2015). Suhu dan waktu yang digunakan selama proses kalsinasi mempengaruhi bentuk struktur karbon yang dihasilkan. Kalsinasi yang baik menghasilkan struktur karbon cincin polisiklik aromatik (Farabi et al., 2019). Proses kalsinasi disuhu dan waktu relatif rendah dapat mendehidrasi sumber karbon dan menghasilkan pembakaran tidak sempurna (Lim et al., 2020)

Umumnya suhu kalsinasi yang digunakan kisaran antara 120°C hingga 1000°C. Sumber karbon berbeda akan memiliki suhu dan waktu optimal kalsinasi yang berbeda. Bila suhu yang dipakai terlalu tinggi, struktur karbon akan mengalami dekomposisi termal yang parah dan berdampak pada pegurangan perlekatan gugus -SO₃H selama sulfonasi. Waktu kalsinasi yang biasa digunakan berkisaran 1 jam hingga 14 jam (Julius, 2015; Lokman et al., 2014). Penggunaan waktu terlalu lama mengakibatkan pengerasan struktur karbon sehingga menghambat perlekatan gugus -SO₃H (Lim et al., 2020).

Salah satu sumber karbon yang baik digunakan dalam pembuatan biodiesel adalah biji alpukat. Alpukat (*Persea americana mill*) merupakan buah yang memiliki kandungan tinggi akan minyak tak jenuh tunggal. Buah alpukat banyak digunakan dalam produk makanan, kosmetik, dan farmasi. Buah alpukat menghasilkan limbah seperti biji alpukat yang dapat menimbulkan masalah ekologi, terutama dalam

penyebaran hama serangga dan hewan pengerat. Oleh karena itu untuk mengatasi permasalahan ini limbah biji alpukat digunakan sebagai sumber karbon.

Disamping untuk mengurangi limbah biji alpukat yang terbuang, penggunaan biji alpukat sebagai sumber karbon untuk katalis karbon tersulfonasi dikarenakan biji alpukat memiliki kandungan pati yang tinggi (Zhu et al., 2016). Kandungan biji alpukat (basis basah) yaitu air (51-58%), pati (80%), gula (2,21-3,50%), protein (2,38-2,45%) dan abu (1,24-1,34%) (Mart et al., 2016).

D. Sulfonasi Karbon

Sulfonasi adalah proses substitusi gugus sulfonat ($-\text{SO}_3\text{H}$) pada permukaan karbon polisiklik aromatik. Cincin polisiklik aromatik memberikan struktur yang kuat dan stabil terikat secara kovalen dengan gugus $-\text{SO}_3\text{H}$ sebagai bahan asam padat yang tidak larut (Lokman et al., 2014). Masuknya gugus sulfonat kedalam cincin polisiklik aromatik melalui ikatan kovalen dengan cara menggantikan hydrogen dalam ikatan pada struktur katalis (Lou et al., 2012).

Katalis asam padat berbasis karbon tersulfonasi adalah material yang berasal dari karbon amorf yang mempunyai lembaran karbon polisiklik aromatik berukuran kecil dan terdapat pusat aktif asam pada permukaan karbon (Cai et al., 2015). Penelitian terbaru mengenai katalis asam padat berbasis karbon bersumber dari pati disintesis melalui reaksi sulfonasi. Metode sulfonasi yang digunakan menyebabkan pusat aktif asam terbentuk di permukaan karbon, dan hal ini sangat efektif untuk sintesis biodiesel dengan kandungan FFA tinggi (Lokman et al., 2014).

E. PFAD

Sumber bahan baku minyak biodiesel dapat berasal dari bahan segar, minyak konsumsi ataupun limbah. Bahan baku yang bersumber dari minyak konsumsi seperti minyak sawit, minyak kedelai, minyak bunga matahari, dan minyak kelapa. Sumber yang tidak dapat dikonsumsi seperti minyak jelantah, lemak hewani buangan (Lokman et al., 2015) dan destilat asam lemak sawit (PFAD) yang diketahui memiliki kandungan asam lemak bebas (FFA) yang tinggi. (Kefas et al., 2019).

PFAD (Destilat asam lemak sawit) merupakan produk samping hasil penyulingan minyak sawit mentah yang dapat digunakan kembali menjadi bahan baru dan bernilai tambah (Kefas et al., 2019). PFAD mengandung FFA dari lebih dari 90%, trigliserida 10%, vitamin E dan Sterol. Asam lemak utama penyusun PFAD yaitu asam palmitat dan asam oleat dan komponen sisa seperti trigliserida dan gliserida parsial. Tingginya kandungan asam lemak bebas membuat PFAD dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel melalui reaksi esterifikasi (S. F. Ibrahim et al., 2020).

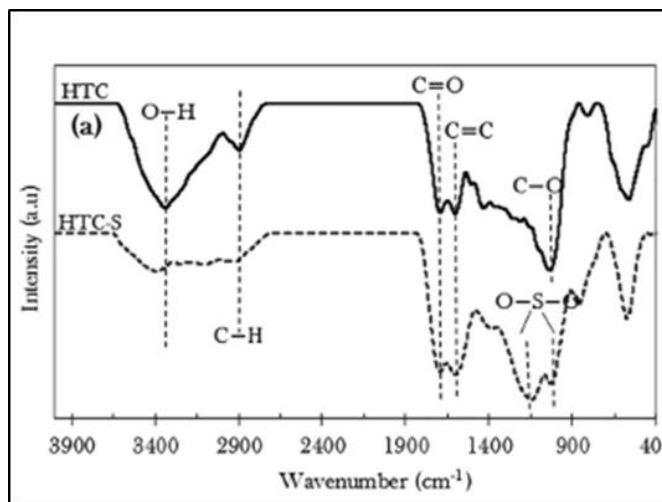
Tabel 1. Karakteristik biodiesel dari PFAD (Akinfalabi et al., 2020; Chongkhong et al., 2009)

Parameter	Nilai
Asam lemak bebas (wt.%)	90
Berat molekul (g/mol)	270
Nilai saponifikasi (mg KOH/gram sampel)	210,15
Kandungan air (%)	0,09
Densitas (kg/m ³)	879
Viskositas (mm ² /s)	4,87

F. Karakterisasi Katalis

1. FTIR (*Fourier Transform-Infra Red*)

Spektrum ini digunakan untuk mengetahui keberadaan gugus fungsi dalam katalis. Prinsip kerja FTIR adalah dengan mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan terhadap senyawa. Pola absorbansi yang diserap oleh suatu senyawa berbeda, sehingga senyawa-senyawa dapat dibedakan dan dikelompokkan (Farabi et al., 2019). Spektrum IR dari semua katalis HTC dan HTC-S menunjukkan pita serapan pada daerah 1580cm^{-1} yang dikaitkan dengan variasi regangan cincin C=C aromatik dari karbon poliaromatik. Pita absorpsi pada 1693cm^{-1} dan 1695cm^{-1} dapat digunakan untuk regangan C=O dari kelompok -COOH , yang menunjukkan keberadaan kelompok asam. Adanya gugus $\text{-SO}_3\text{H}$ yang terikat secara kovalen pada struktur karbon poliaromatik HTC-S dikonfirmasi oleh pita getaran yang kuat pada 1028 dan 1149cm^{-1} .

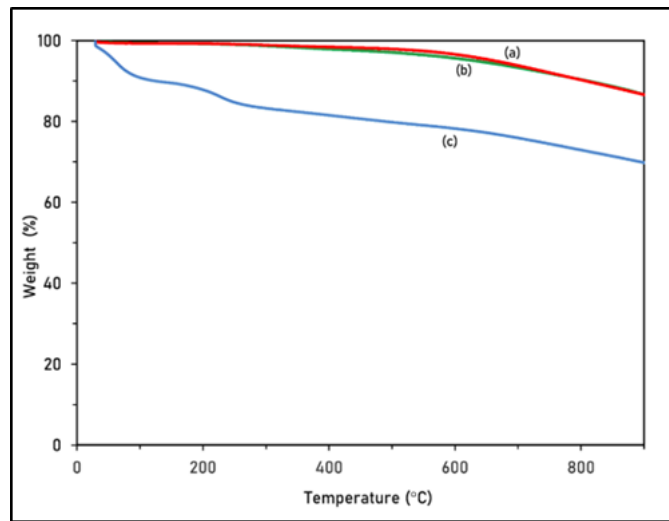


Gambar 3. Spektrum FTIR HTC dan HTC-S (S. F. Ibrahim et al., 2020).

Puncak yang luas pada 3400 cm^{-1} mencerminkan penurunan getaran regangan gugus hidroksil ($-\text{OH}$) dari bagian fenol katalis HTC setelah perlakuan sulfonasi. Pengurangan intensitas puncak $-\text{OH}$ menunjukkan bahwa H_2SO_4 bertindak sebagai agen dehidrasi. Demikian pula, pita yang luas sekitar 2920 cm^{-1} dalam spektrum HTC-S disebabkan oleh pengurangan peregangan C-H asimetris setelah sulfonasi. Kehadiran puncak tersebut menunjukkan bahwa aktivitas kimia menghilangkan sejumlah besar hidrogen dari katalis (S. F. Ibrahim et al., 2020).

2. TGA (*Thermogravimetric Analysis*)

TGA (Thermogravimetric Analisis) merupakan instrument yang digunakan untuk menganalisis stabilitas termal katalis (Cai et al., 2015). Gambar 4. menunjukkan perubahan massa sampel peningkatan suhu dari 30°C - 900°C . keadaan p-MWCNT dan o-MWCNT terhadap peningkatan suhu di awal sama namun berbeda ketika suhu 150°C . Penurunan bobot p-MWNCT dan o-MWNCT dari 30°C - 150°C disebabkan hilangnya kelembapan sampel. Pada 150°C , gugus karboksilat pada o-MWNCT mulai terlepas dan mengalami proses dekarboksilasi. Pada $\text{SO}_3\text{H-MWNCT}$ menunjukkan penurunan berat yang cepat pada awal analisis termal, disebabkan oleh penghilangan pelarut organik, terutama $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ yang tertinggal dalam sampel bahkan setelah pengeringan.



Gambar 4. Termogravimetri (a) p-MWCNT, (b) o-MWNCT (Macawile et al., 2020).

Penurunan berat yang cepat terjadi pada suhu 90°C-220°C, yang terkait dengan penghilangan jejak H₂O₂ dan sejumlah besar gugus karboksilat. Penambahan H₂O₂ tidak hanya mengoksidasi gugus –SH menjadi –SO₃H tetapi juga menghasilkan gugus karboksilat lebih lanjut pada permukaan SO₃H-MWNCT. Penurunan berat yang signifikan dari 250°C ke 900°C berkorelasi dengan dekomposisi senyawa organik yang terikat secara kimiawi pada sampel (Macawile et al., 2020).

G. Sifat-sifat Biodiesel

1. Densitas

Densitas merupakan massa jenis atau rapatan dan sifat fisik yang berkaitan dengan nilai kalori dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan volume bahan bakar. Makin ringan bahan bakar semakin rendah pula massa jenisnya dan sebaliknya makin berat bahan bakar semakin tinggi masa jenisnya. Dari sebagian besar penelitian karakteristik biodiesel yang dihasilkan berada dalam rentang standar yang ditetapkan. Biodiesel dengan massa jenis 879 kg/m³ dapat menghasilkan

pembakaran yang sempurna. Apabila Biodiesel memiliki massa jenis melebihi ketentuan akan menghasilkan reaksi pembakaran tidak sempurna (Atabani et al., 2012).

2. Bilangan Asam

Bilangan asam merupakan jumlah dari asam lemak bebas yang terkandung dalam suatu sampel bahan bakar. Bilangan asam dapat didefinisikan sebagai kuantitas dalam mgKOH/1,0g biodiesel, untuk menetralkan biodiesel. Bilangan asam dapat dikatakan indikator potensi oksidatif dari bahan bakar (Adekunle et al., 2020). Asam lemak bebas adalah suatu asam mono karboksilat jenuh atau tak jenuh yang terbentuk secara alami dalam suatu lemak atau minyak.

Data bilangan asam yang diperoleh dari biodiesel dapat diketahui persen konversi biodiesel yang dihasilkan. Jumlah asam lemak yang tinggi menyebabkan tingginya bilangan asam. Nilai dari bilangan asam dinyatakan dalam mg KOH yang digunakan untuk menetralkan 1g FAME. Apabila nilai bilangan asam dalam suatu bahan bakar terlalu tinggi dapat menyebabkan korosi pada suatu mesin. Nilai bilangan asam maksimum SNI untuk biodiesel dari PFAD adalah 90 mgKOH/g (Atabani et al., 2012).

3. Laju Alir/ Viskositas

Penentuan laju alir digunakan untuk mempelajari viskositas dari biodiesel. Biodiesel dengan laju alir rendah memiliki nilai viskositas tinggi dan sebaliknya laju alir tinggi memiliki nilai viskositas rendah (Rahman et al., 2019). Viskositas merupakan pengukuran dari kemampuan mengalir dan ketahanan aliran bahan biodiesel pada suhu tertentu. Salah satu sifat biodiesel ini memberi pengaruh pada

kualitas atomisasi, ukuran tetesan bahan bakar, ikut mempengaruhi kualitas pembakaran dan parameter kinerja mesin (Saeed et al., 2019).

4. Bilangan Penyabunan

Bilangan penyabunan adalah jumlah total saponifikasi dalam per unit berat minyak. Nilai tinggi yang dihasilkan dari bilangan penyabunan menunjukkan adanya rantai asam lemak dengan berat molekul rendah dengan jumlah yang besar. Bilangan penyabunan adalah mgKOH untuk menyabuni 1gram asam lemak. Menurut ASTM D5558-95 nilai bilangan angka asam sekitar 0-370 mgKOH/g. Nilai bilangan penyabunan yang mentah akan lebih tinggi adanya kandungan asam lemak yang tinggi (Sakthivel et al., 2017).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Katalis Karbon Biji Alpukat (KS30, KS25 dan KS35) dapat disintesis sebagai katalis dalam produksi biodiesel menggunakan PFAD. Spektra FTIR katalis menunjukkan keberadaan gugus sulfonat dengan hadirnya pita serapan pada bilangan gelombang 1700-600 cm^{-1} . Area pita vibrasi SO_2 terluas ditunjukkan oleh KS30, serta memiliki nilai situs asam tertinggi yaitu 1,61 mmol/g.
2. Aktivitas katalitik katalis tertinggi ditunjukkan oleh BKS30 dengan kemampuan mengkonversi PFAD menjadi biodiesel mencapai 97%. Uji Densitas didapat 0,83946 g/mL, laju alir 0,58 mL/s dan nilai bilangan asam yang dihasilkan adalah 8,96 mgKOH/g. Spektrum FTIR biodiesel terdapat pita serapan pada bilangan gelombang 1250-1000 cm^{-1} menunjukkan keberadaan ikatan C-O-C dari ester. Vibrasi ester pada FTIR menunjukkan BKS30 memiliki luas area terbesar.

B. Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan dapat menambah karakterisasi sampel dengan menggunakan XRD, SEM dan TPD- NH_3 .

DAFTAR PUSTAKA

- Aboelhasan, M. M., Peixoto, A. F., & Freire, C. (2017). *Sulfonic acid functionalized silica nanoparticles as catalysts for the esterification of linoleic acid*. *New Journal of Chemistry*, 41(9), 3595–3605. <https://doi.org/10.1039/c6nj04043h>
- 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>
- Akinfalabi, S. I., Rashid, U., Nehdi, I. A., Choong, T. S. Y., Sbihi, H. M., & Gewik, M. M. (2020). *Optimization and blends study of heterogeneous acid catalyst-assisted esterification of palm oil industry by-product for biodiesel production*. *Royal Society Open Science*, 7(1). <https://doi.org/10.1098/rsos.191592>
- Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). *Avocado by-products: Nutritional and functional properties*. In *Trends in Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Araujo, R. O., Chaar, J. da S., Queiroz, L. S., da Rocha Filho, G. N., da Costa, C. E. F., da Silva, G. C. T., Landers, R., Costa, M. J. F., Gonçalves, A. A. S., & de Souza, L. K. C. (2019). *Low temperature sulfonation of acai stone biomass derived carbons as acid catalysts for esterification reactions*. *Energy Conversion and Management*, 196(April), 821–830. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.06.059>
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Anjum, I., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., & Mekhilef, S. (2012). *A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 2070–2093. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.003>
- Bastos, R. R. C., da Luz Corrêa, A. P., da Luz, P. T. S., da Rocha Filho, G. N., Zamian, J. R., & da Conceição, L. R. V. (2020). *Optimization of biodiesel production using sulfonated carbon-based catalyst from an amazon agro-industrial waste*. *Energy Conversion and Management*, 205(December 2019), 112457. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112457>
- Cai, Z. Z., Wang, Y., Teng, Y. L., Chong, K. M., Wang, J. W., Zhang, J. W., & Yang, D. P. (2015). *A two-step biodiesel production process from waste cooking oil via recycling crude glycerol esterification catalyzed by alkali catalyst*. *Fuel Processing Technology*, 137, 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.04.017>