

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS KARBON SABUT
PINANG (*Areca cathecu L.*) TERSULFONASI
UNTUK PRODUKSI BIODIESEL DARI
*PALM FATTY ACID DISTILLATE***



NADIA

NIM/TM. 18036136/2018

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

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS KARBON SABUT
PINANG (*Areca cathecu L.*) TERSULFONASI
UNTUK PRODUKSI BIODIESEL DARI
*PALM FATTY ACID DISTILLATE***

SKRIPSI

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



NADIA

NIM/TM. 18036136/2018

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

PERSETUJUAN SKRIPSI

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS KARBON KULIT KACANG TANAH (*Arachis hypogaea*) TERSULFONASI UNTUK PRODUKSI BIODIESEL DARI PFAD (*Palm Fatty Acid Destillate*)

Nama : Rida
NIM : 18036143
Program Studi : Kimia (NK)
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Juni 2022

Mengetahui:
Kepala Departemen

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing



Budhi Oktavia, M.Si, Ph.D
NIP. 19721024 199803 1 001



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

PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

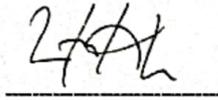
Nama : Nadia
NIM : 18036136
Program Studi : Kimia (NK)
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS KARBON SABUT PINANG (*Areca cathecu L.*) TERSULFONASI UNTUK PRODUKSI BIODIESEL DARI *PALM FATTY ACID DESTILATE*

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

Padang, Juni 2022

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Umar Kalmar Nizar, S.Si., M.Si., Ph.D	
Anggota	: Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D	
Anggota	: Dr. Desy Kurniawati, S.Pd., M.Si	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nadia
NIM : 18036136
Tempat/Tanggal lahir : Ganting/ 12 Februari 2000
Program Studi : Kimia (NK)
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : **Sintesis dan Karakterisasi Katalis Karbon Sabut Pinang (*Areca cathecu L.*) Tersulfonasi untuk Produksi Biodiesel dari Palm Fatty Acid Distillate**

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, Juni 2022
Yang menyatakan



Nadia
NIM : 18036136

Sintesis dan Karakterisasi Katalis Karbon Sabut Pinang (*Areca cathecu L*) Tersulfonasi untuk Produksi Biodiesel dari *Palm Fatty Acid Distillate*

Nadia

ABSTRAK

Penelitian ini membahas terkait dengan aktivitas katalitik katalis dalam produksi biodiesel menggunakan *Palm Fatty Acid Distillate*. Metoda yang digunakan dalam sintesis katalis yaitu kalsinasi dan sulfonasi. Sintesis karbon dilakukan dengan variasi suhu kalsinasi 250°C, 300°C dan 350°C selama 1 jam, kemudian dilanjutkan dengan proses sulfonasi dengan H₂SO₄ selama 4 jam dengan suhu 160°C. Karbon dan katalis yang diperoleh dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR, XRD dan penentuan situs asam. Katalis diaplikasikan pada produksi biodiesel dari PFAD dengan metode reaksi esterifikasi. Selanjutnya biodiesel yang dihasilkan dilakukan uji sifat fisikokimianya seperti uji densitas, laju alir, bilangan asam dan persen konversi. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa aktivitas katalitik tertinggi dihasilkan oleh K-SP350°C, yang memiliki situs asam tertinggi. Katalis recycle atau (R)K-SP menunjukkan biodiesel yang dihasilkan menurun dibandingkan dengan K-SP.

Kata Kunci : Katalis, kalsinasi, katalis karbon tersulfonasi, 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 Sabut Pinang (Areca cathecu l.) Tersulfonasi untuk Produksi Biodiesel dari Palm Fatty Acid Distillate"*. Shalawat beserta salam untuk nabi tauladan kita, Muhammad SAW yang telah memberikan tauladan dalam setiap aktivitas yang kita lalui.

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

1. Bapak Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Penasehat Akademik sekaligus Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan serta arahan selama proses pengerjaan hingga selesainya tugas akhir ini.
2. Bapak Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D sebagai Dosen Pembahas.
3. Ibu Dr. Desy Kurniawati, S.Pd., M.Si sebagai Dosen Pembahas.
4. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Kepala Departemen Kimia.
5. Bapak dan Ibu staf pengajar serta seluruh staf akademik dan non akademik Jurusan Kimia FMIPA UNP.

6. Orang tua penulis yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman kimia angkatan 2018 yang telah membantu dalam pembuatan skripsi ini.

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

Padang, Mei 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
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	6
E. Tujuan Penelitian.....	6
F. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Biodiesel dari PFAD.....	7
B. Katalis Karbon Tersulfonasi	10
C. Karbon Sabut Pinang.....	14
D. Karakterisasi Katalis.....	16
E. Analisis Sifat Biodiesel.....	19
BAB III METODELOGI PENELITIAN	21
A. Waktu dan Tempat Penelitian	21
B. Variabel Penelitian	21
C. Alat dan Bahan.....	21

D. Prosedur Kerja.....	22
BAB IV PEMBAHASAN	29
A. Sifat Fisikokimia Katalis Karbon Sabut Pinang Tersulfonasi	29
B. Uji Sifat Fisikokimia Biodiesel.....	35
C. Aktivitas Katalitik Recycle Katalis Sabut Pinang Tersulfonasi.....	42
BAB V PENUTUP	46
A. KESIMPULAN	46
B. SARAN.....	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Persamaan umum reaksi esterifikasi (Sangar et al., 2019)	9
Gambar 2. Reaksi transesterifikasi (Knothe & Steidley, 2017)	9
Gambar 3. Spektrum FTIR katalis HTC dan HTC-S.....	17
Gambar 4. Pola XRD untuk MKSB dan MKSB—JADI3H	18
Gambar 5. Karbon a) 250°C, b) 300°C, c) 350°C, d) 400°C, dan e) 450°C	29
Gambar 6. Spektrum FTIR Karbon SP 250°C, 300°C dan 350°C	30
Gambar 7. Spektrum FTIR K-SP 250°C, 300°C dan 350°C	32
Gambar 8. XRD Karbon SP 350°C dan Katalis SP 350°C	33
Gambar 9. Situs Asam Karbon Sabut Pinang Sebelum dan Sesudah	35
Gambar 10. Densitas dari PFAD dan Biodiesel yang dihasilkan	37
Gambar 11. Laju Alir PFAD dan Biodiesel yang dihasilkan	38
Gambar 12. Bilangan Asam PFAD dan Biodiesel yang dihasilkan	40
Gambar 13. Persen Konversi Biodiesel yang dihasilkan	42
Gambar 14. a) Densitas B-(R)KSP, b) Laju Alir B-(R)KSP, c) Bilangan Asam B-(R)KSP, d) Persen Konversi B-(R)KSP.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sumber Katalis Karbon Tersulfonasi.....	13
2. Syarat mutu biodiesel B100 SNI 7182:2015	19
3. Kode sampel yang digunakan.....	23
4. Kode biodiesel yang dihasilkan	26
5. Situs Asam Karbon Sabut Pinang Sebelum dan Sesudah Sulfonasi.....	35
6. Uji Densitas PFAD dan Biodiesel yang dihasilkan	37
7. Uji Laju Alir PFAD dan Biodiesel yang dihasilkan	38
8. Uji Bilangan Asam PFAD dan Biodiesel yang dihasilkan.....	40
9. Persen Konversi Biodiesel yang dihasilkan	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Alir Penelitian	51
2. Perhitungan.....	59
3. Data Penelitian	70
4. Dokumentasi	75

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi yang diperoleh dari batubara dan minyak dalam bentuk bahan bakar dan listrik merupakan kebutuhan mendasar manusia dan pembangunan masyarakat. Penipisan cadangan minyak yang cepat, dan permintaan energi yang terus meningkat, sedangkan harga minyak mentah yang berfluktuasi dan emisi gas buang negatif dari konsumsi bahan bakar fosil yang berlebihan mengacu pada pencemaran lingkungan. Oleh karena itu perlunya pencarian sumber energi alternatif (Malani *et al.*, 2020). Salah satu sumber energi terbarukan yang sudah dikembangkan dan dijadikan sebagai alternatif yaitu biodiesel.

Biodiesel merupakan bahan bakar berkelanjutan, tidak berbasis minyak bumi, tetapi memiliki banyak keunggulan, seperti emisi rendah, biodegradable, dan pelumasan lebih tinggi (do Nascimento *et al.*, 2011). Biodiesel juga disebut sebagai FAME atau metil ester asam lemak, diartikan sebagai ester alkil yang sederhana dari asam lemak rantai panjang yang dihasilkan pada sumber alam terbarukan seperti lemak hewani dan minyak nabati. Beberapa kelebihan biodiesel dibandingkan bahan bakar lainnya yaitu antara lain: memiliki emisi karbon monoksida yang rendah, menghasilkan lebih sedikit asap, memiliki profil emisi pembakaran yang lebih baik, hidrokarbon dan sulfur dioksida tidak terbakar, serta mudah terurai secara hayati (Kefas *et al.*, 2018).

Produksi biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi esterifikasi atau reaksi transesterifikasi. Reaksi transesterifikasi didefinisikan sebagai reaksi lemak dan minyak serta alkohol untuk pembentukan ester dengan adanya katalis dan gliserol (Talha & Sulaiman, 2016). Reaksi esterifikasi merupakan transformasi asam lemak bebas menjadi biodiesel dengan bantuan alkohol rantai pendek serta katalis (Roman *et al.*, 2019). Salah satu bahan baku murah dan menjanjikan yang dapat digunakan yaitu *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD).

Limbah PFAD merupakan hasil samping proses penggilingan minyak sawit. Kandungan yang terdapat dalam PFAD adalah 98% asam lemak bebas (FFA), asam lemak palmitat, asam lemak oleat, komponen sisanya adalah trigliserida dan gliserida parsial. Tingginya kandungan FFA (*Free Fatty Acid*) pada PFAD menjadikannya potensial dimanfaatkan untuk bahan baku dalam produksi biodiesel. Reaksi pembentukan biodiesel dari PFAD adalah reaksi esterifikasi yang berlangsung lambat sehingga diperlukan katalis untuk meningkatkan laju reaksi (Ibrahim *et al.*, 2020).

Katalis yang sesuai untuk produksi biodiesel dari PFAD adalah katalis asam padat tersulfonasi (Kefas *et al.*, 2018). Katalis ini disintesis melalui proses kalsinasi dari limbah organik yang mengandung glukosa, selulosa, pati dan lignin, seperti tongkol jagung, ampas tebu, bambu dan kentang (Garg *et al.*, 2014). Kalsinasi merupakan proses penguraian atau pemanasan pada suhu tinggi dengan adanya udara maupun tanpa udara atau dengan aliran gas N₂ dan tanpa adanya gas N₂ (Lokman *et al.*, 2014).

Sulfonasi merupakan proses substitusi gugus asam sulfonat (HSO_3) pada rangka karbon senyawa aromatik polisiklik. Sulfonasi bisa dilakukan dengan merendam karbon dalam H_2SO_4 pekat. Metode sulfonasi sangat efektif digunakan pada bahan baku dengan kandungan FFA yang tinggi untuk produksi biodiesel (Zhang *et al.*, 2016).

Beberapa katalis karbon tersulfonasi yang disintesis dari limbah organik yang telah dilaporkan dalam esterifikasi PFAD seperti tandan kelapa sawit dan biji kelapa sawit yang dikarbonisasi dengan aliran N_2 pada suhu 700°C selama 2 jam dan 400°C selama 2 jam. Karbon tandan kelapa sawit di sulfonasi dengan HSO_3Cl pada suhu 70°C . Dihasilkan persentase katalis sebesar 98,6% (Ibrahim *et al.*, 2019). Sulfonasi untuk biji kelapa sawit menggunakan H_2SO_4 pada suhu 150°C selama 12 jam. Proses sulfonasi memungkinkan gugus asam sulfonat untuk melekat pada selembur karbon aromatik polisiklik. Katalis ini diaplikasikan pada produksi biodiesel dari PFAD. Diperoleh kondisi optimal untuk reaksi pada suhu 60°C setelah 2 jam (Akinfalabi *et al.*, 2017).

Sintesis katalis asam padat berbasis karbon tersulfonasi dari bambu juga telah dilaporkan. Katalis disintesis melalui karbonisasi pada suhu 500°C dilanjutkan dengan sulfonasi menggunakan asam klorosulfonat pekat pada 70°C . Katalis bambu dapat mengubah lebih dari 90% PFAD menjadi biodiesel. Kondisi optimal ini terjadi pada suhu 65°C selama 1 jam, massa katalis terhadap minyak 4% dan rasio molar metanol terhadap minyak 15:1 (Farabi *et al.*, 2019).

Sabut pinang (*Areca cathecu L.*) merupakan limbah dari pengolahan buah pinang. Kandungan utamanya yaitu 32,98% hemiselulosa, 53,20% alfa selulosa, 7,20% lignin dan 4,81% komponen lain yang ada dalam sabut pinang (Frida *et al.*, 2019). Menurut Panjaitan (2008), adanya selulosa dalam sabut pinang dapat digunakan sebagai sumber karbon untuk produksi karbon aktif (Syauqi *et al.*, 2016).

Sitanggang, dkk (2017) melaporkan pemanfaatan selulosa sabut pinang sebagai karbon aktif untuk bahan dasar yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben ion Pb(II) dalam air. Aktivasi karbon dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) pada berbagai konsentrasi. Karbon aktif yang diperoleh digunakan untuk mengadsorbsi Pb(II) dalam larutan. Namun, belum ada penelitian yang mengkaji pemanfaatan katalis karbon sabut pinang tersulfonasi secara spesifik pada produksi biodiesel dari PFAD.

Berdasarkan uraian diatas maka akan dilakukan sintesis dan karakterisasi katalis karbon sabut pinang (*Areca cathecu L.*) tersulfonasi untuk produksi biodiesel dari PFAD. Sulfonasi sampel dilakukan dengan H_2SO_4 , dan katalis akan dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR, XRD, dan situs asam, yang akan diaplikasikan pada produksi biodiesel. Biodiesel yang didapatkan akan dilakukan uji sifat fisika biodiesel seperti uji densitas, viskositas, bilangan asam, dan persen konversi.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diperoleh dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bahan bakar fosil yang bisa menyebabkan polusi lingkungan karena sumbernya yang tidak dapat diperbaharui, oleh karena itu dibutuhkan sumber energi terbarukan.
2. Biodiesel adalah sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk bahan bakar mesin diesel. Bahan baku yang digunakan dapat berasal dari limbah seperti PFAD.
3. Kandungan asam lemak bebas (FFA) yang tinggi dalam PFAD dapat digunakan sebagai bahan baku produksi biodiesel dengan bantuan katalis. Katalis yang digunakan harus sesuai dengan bahan baku dengan FFA tinggi yaitu berbasis katalis asam padat tersulfonasi.
4. Katalis asam padat dapat diperoleh dengan memanfaatkan limbah organik, salah satunya sabut pinang. Sabut pinang memiliki kandungan selulosa yang sangat tinggi sehingga dapat digunakan sebagai sumber karbon untuk sintesis katalis asam padat tersulfonasi.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Katalis karbon sabut pinang tersulfonasi disintesis dengan variasi suhu kalsinasi (250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C) kemudian dilanjutkan dengan proses sulfonasi menggunakan H₂SO₄ pada suhu 160°C selama 4 jam.
2. Karakterisasi katalis sabut pinang dilakukan dengan menggunakan instrumen FTIR, XRD, dan penentuan situs asam.
3. Aplikasi katalis karbon sabut pinang tersulfonasi melalui reaksi esterifikasi pada produksi biodiesel menggunakan PFAD dan metanol.

4. Pengujian sifat fisika biodiesel dibatasi pada uji densitas, viskositas, bilangan asam, dan persen konversi.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat fisikokimia dari katalis karbon sabut pinang yang disintesis dari proses kalsinasi dan sulfonasi dengan H_2SO_4 ?
2. Bagaimana sifat-sifat fisika biodiesel melalui reaksi esterifikasi antara PFAD dan metanol menggunakan katalis karbon sabut pinang tersulfonasi?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan sifat fisikokimia dari katalis karbon sabut pinang yang disintesis dari proses kalsinasi dan sulfonasi dengan H_2SO_4 .
2. Menentukan sifat biodiesel melalui reaksi esterifikasi antara PFAD dan metanol menggunakan katalis karbon sabut pinang tersulfonasi

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan informasi mengenai sifat fisikokimia dari karbonisasi katalis karbon sabut pinang melalui proses kalsinasi dan disulfonasi menggunakan H_2SO_4 .
2. Memberikan informasi mengenai beberapa sifat-sifat biodiesel yang diperoleh melalui reaksi esterifikasi antara PFAD dan metanol dengan menggunakan katalis karbon sabut pinang tersulfonasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Biodiesel dari PFAD

Energi dari batu bara dan minyak mentah berupa listrik dan bahan bakar untuk transportasi merupakan kebutuhan dasar peradaban manusia dan pembangunan sosial saat ini. Penipisan cadangan minyak yang cepat, permintaan energi (bahan bakar dan listrik) yang terus meningkat, harga minyak mentah yang berfluktuasi dan emisi gas buang negatif dari konsumsi bahan bakar fosil yang berlebihan, yang mengarah pada pencemaran lingkungan, telah mengintensifkan pencarian sumber energi alternatif di seluruh dunia. Penggunaan bahan bakar dan bahan kimia berbahan biomassa merupakan solusi yang memungkinkan untuk mengurangi ketergantungan pada sumber fosil (Malani *et al.*, 2020).

Dalam dekade terakhir, berbagai teknologi dan proses telah dikembangkan yang menggunakan residu pertanian, bahan baku yang tidak dapat dimakan, dan sisa makanan untuk menghasilkan berbagai biofuel, biokimia, dan biomaterial, termasuk biopolimer yang dapat dipasarkan. Secara umum, limbah dari biorefinery dapat diolah melalui proses termokimia, fisika-kimia atau biokimia untuk mengubahnya menjadi energi terbarukan (Malani *et al.*, 2020).

Biodiesel adalah bahan bakar berkelanjutan, tidak berbasis minyak bumi, tetapi memiliki banyak keunggulan, termasuk emisi rendah, biodegradable, dan pelumasan lebih tinggi (do Nascimento *et al.*, 2011). Bahan baku untuk produksi biodiesel dapat bersumber dari minyak nabati, lemak hewani, lemak

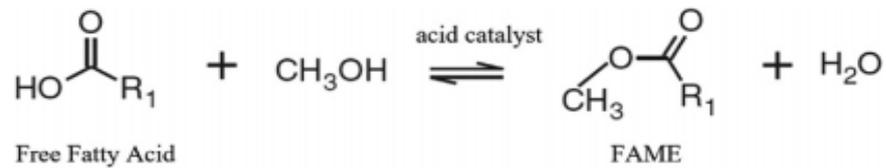
ayam, minyak jarak, minyak biji kapas, dan limbah dari beberapa industri lainnya. Dengan menggunakan bahan baku murah untuk produksi biodiesel memiliki keuntungan sebagai berikut: tidak bersaing dengan pasar makanan, daur ulang sampah, mengurangi biaya produksi dan meningkatkan daya saing ekonomi biodiesel (Hidayat *et al.*, 2015).

Biodiesel terdiri dari alkil ester yang berasal dari transesterifikasi trigliserida (TG) dengan lemak dan minyak atau esterifikasi asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*) dengan alkohol rantai pendek (do Nascimento *et al.*, 2011). Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi antara lemak, minyak serta alkohol membentuk ester dengan terdapatnya katalis dan gliserol (Talha & Sulaiman, 2016). Reaksi esterifikasi merupakan transformasi asam lemak bebas menjadi biodiesel dengan bantuan alkohol rantai pendek serta katalis (Roman *et al.*, 2019). Salah satu bahan baku murah dan menjanjikan yang dapat digunakan yaitu *Palm Fatty Acid Distilate* (PFAD).

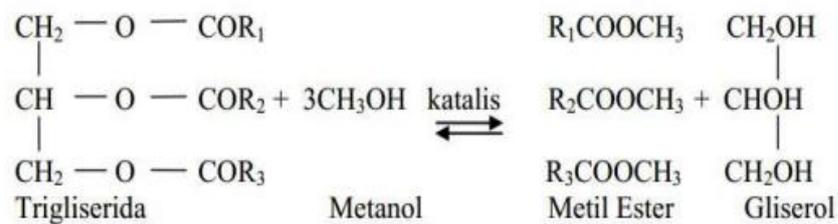
Limbah PFAD merupakan hasil samping proses pemurnian minyak sawit. Kandungan yang terdapat dalam PFAD adalah 98% asam lemak bebas (FFA), asam lemak palmitat, asam lemak oleat, komponen sisanya adalah trigliserida dan gliserida parsial. Tingginya kandungan FFA (*Free Fatty Acid*) pada PFAD menjadikannya potensial dimanfaatkan untuk bahan baku dalam produksi biodiesel (Ibrahim *et al.*, 2020).

Reaksi esterifikasi dan transesterifikasi adalah salah satu reaksi reversibel yang prosesnya lambat. Pengadukan yang tepat diperlukan untuk mempercepat reaksi dan meningkatkan efisiensi reaksi, dan penambahan katalis serta reaktan diperlukan untuk menggerakkan reaksi ke kanan

(Roman *et al.*, 2019). Berikut menunjukkan persamaan kimia umum dari reaksi esterifikasi dan reaksi transesterifikasi :



Gambar 1. Persamaan umum reaksi esterifikasi (Sangar et al., 2019)



Gambar 2. Reaksi transesterifikasi (Knothe & Steidley, 2017)

Baru-baru ini, katalis asam padat heterogen berkualitas tinggi telah dikembangkan untuk transesterifikasi minyak nabati yang mengandung asam lemak bebas. Beberapa keunggulan katalis asam heterogen yaitu mudah dilakukan pemisahan, dapat digunakan kembali atau didaur ulang dan lebih murah untuk diproduksi. Secara umum, katalis heterogen beroperasi pada suhu reaksi yang cukup tinggi dan rasio alkohol terhadap minyak yang lebih tinggi daripada katalis homogen. Menurut Edgar, katalis heterogen yang baik harus memiliki stabilitas tinggi, situs asam yang sangat kuat, pori-pori besar, dan permukaan, hidrofobik dan biaya persiapan rendah (Bangun *et al.*, 2015).

Katalis homogen asam seperti asam klorida (HCl), asam nitrat (HNO₃), asam sulfat (H₂SO₄) dan asam fosfat (H₃PO₄) dapat digunakan dalam reaksi esterifikasi, tetapi mereka memiliki beberapa kelemahan karena kurangnya penggunaan kembali dan stabilitas dari katalis, kompleksitas langkah pemurnian, korosi peralatan, sehingga penggunaan katalis asam padat sebagai

alternatif dapat mengatasi kelemahan ini. Saat ini, katalis heterogen lebih diminati daripada katalis homogen karena pemisahannya mudah, dapat diregenerasi, dan tidak memerlukan langkah pemurnian. Bahkan, katalis heterogen lebih efektif dalam produksi biodiesel karena prosesnya murah dan memiliki dampak lingkungan yang minimal (Sangar *et al.*, 2019).

Esterifikasi PFAD umumnya berasal dari beberapa katalis seperti sampah organik yang mengandung selulosa, glukosa, dan pati kemudian disulfonasi. Salah satunya limbah tersebut antara lain bungkil kelapa sawit, cangkang kakao, cangkang bulu malaikat (*Cyrtopleura costata*) (Ji *et al.*, 2011). Karena kandungan pati, selulosa dan glikosa yang tinggi, limbah ini dapat dijadikan bahan baku untuk produksi biodiesel (Wang *et al.*, 2020).

B. Katalis Karbon Tersulfonasi

Katalis merupakan zat yang bisa meningkatkan laju reaksi suatu reaksi kimia. Keadaan hampir setimbang dimana katalis terlibat tidak secara permanen. Katalis meningkatkan laju reaksi dengan mempengaruhi energi aktivasi reaksi kimia. Reaksi tersebut karena adanya katalis mengurangi energi aktivasi berlangsung dengan cepat. Katalis karbon tersulfonasi ini merupakan katalis yang disintesis dengan kalsinasi dan sulfonasi.

Kalsinasi merupakan proses penguraian atau pemanasan pada suhu tinggi dengan adanya udara maupun tanpa udara atau dengan aliran gas N₂ dan tanpa adanya gas N₂ (Lokman *et al.*, 2014). Sulfonasi merupakan proses substitusi gugus asam sulfonat (HSO₃) pada rangka karbon senyawa aromatik polisiklik. Sulfonasi bisa dilakukan dengan merendam karbon dalam H₂SO₄

pekat. Metode sulfonasi sangat efektif digunakan pada bahan baku dengan kandungan FFA yang tinggi untuk produksi biodiesel (Zhang *et al.*, 2016).

Katalis dalam produksi biodiesel umumnya dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis ; asam, basa, dan enzim. Katalis enzim lebih menarik digunakan dalam produksi biodiesel karena dapat mencegah pembentukan sabun dan proses pemurniannya sederhana. Namun, katalis enzim tidak digunakan secara komersial karena memiliki waktu reaksi yang terlalu lama dan tidak tahan terhadap perubahan suhu dan biaya yang tinggi (Talha & Sulaiman, 2016).

Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fasa yang sama antara fasa reaktan dan fasa produk sehingga sulit dipisahkan dikarenakan memiliki fasa yang sama (Endang, 2018). Produksi biodiesel menggunakan katalis homogen memiliki beberapa kelemahan antara lain, pemisahan katalis dari produk sulit, produk samping berupa sabun, sangat kompleks dan dapat mengurangi proporsi biodiesel yang dihasilkan, meningkatkan konsumsi katalis dan menyebabkan korosi pada reaktor dan mesin (Talha & Sulaiman, 2016).

Katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fasa yang berbeda antara fasa reaktan dan fasa produk. Katalis heterogen yang digunakan dalam produksi biodiesel juga dapat bersifat asam atau basa. Katalis asam baik digunakan untuk esterifikasi asam lemak dan katalis basa lebih cepat pada transesterifikasi trigliserida. Katalis heterogen menawarkan manfaat dari proses yang disederhanakan dan lebih efisien (Basso *et al.*, 2013). Karena katalis heterogen memiliki beberapa kelebihan, antara lain ; tidak sensitif

terhadap FFA dan kandungan air dalam minyak, metode yang disarankan saat menggunakan oli berkualitas rendah esterifikasi dan transesterifikasi terjadi secara bersamaan, mudah pemisahan katalis dari produk, potensi besar untuk digunakan kembali dan meregenerasi, dan dapat diperbaharui kembali (Talha & Sulaiman, 2016).

Katalis karbon tersulfonasi umumnya berasal dari limbah organik. Beberapa sumber karbon dari limbah organik yang telah dilaporkan yaitu antara lain :

1. Biji Kelapa Sawit

Biji kelapa sawit ini sudah dilaporkan dalam sintesis katalis asam padat berdasarkan karbon tersulfonasi. Katalis disintesis dengan proses kalsinasi menggunakan gas N_2 pada suhu $400^\circ C$ selama 2 jam dilanjutkan dengan proses sulfonat H_2SO_4 12 jam pada suhu $150^\circ C$. Pada selebar karbon aromatik polisiklik yang meningkatkan keasaman katalis. Katalis ini dapat diaplikasikan pada produksi biodiesel dari PFAD. Kondisi optimal untuk reaksi diperoleh setelah 2 jam pada suhu $60^\circ C$, rasio molar metanol terhadap PFAD 9:1, massa katalis 2,5%, konversi FFA 98,2%, FAME 97,8% (Akinfalabi *et al.*, 2017).

2. Tandan kelapa Sawit

Dilaporkan sebagai sumber karbon yang disintesis dengan metode aktivasi kimia serta laju pemanasan $5^\circ C$ /menit. Dikarbonisasi dengan aliran N_2 selama 2 jam, suhu $700^\circ C$. Karbon tandan kelapa sawit di sulfonasi dengan HSO_3Cl pada suhu $70^\circ C$. Dihasilkan persentase katalis sebesar 98,6% (Ibrahim *et al.*, 2019).

Beberapa sumber katalis karbon tersulfonasi lainnya antara lain :

Tabel 1. Sumber Katalis Karbon Tersulfonasi

No	Sumber Karbon	Metode	Aplikasi	Hasil	Referensi
1.	Kotoran sapi	- Kalsinasi selama 2 jam suhu 500°C - Sulfonasi suhu 180°C dengan H ₂ SO ₄ 2 jam, 5 jam dan 10 jam	Katalis tersulfonasi untuk produksi biodiesel dari PFAD dan metanol	Esterifikasi PFAD dengan berat katalis 4%, rasio molar 18:1 metanol:PFAD, suhu reaksi 90°C 1 jam mencapai konversi FFA sebesar 96,5% dan FAME sebesar 93,2%.	(Sangar <i>et al.</i> , 2019)
2.	Bambu	- karbonisasi suhu 500°C - Sulfonasi dengan asam klorosulfonat pekat pada 70°C.	Esterifikasi distilate asam lemak sawit untuk produksi biodiesel dikatalisis oleh sintesis katalis sulfonasi	90% PFAD menjadi biodiesel. Optimal pada suhu 65°C selama 1 jam, massa katalis terhadap minyak 4% dan rasio molar metanol terhadap minyak 15:1.	Farabi <i>et al.</i> , 2019
3.	Kulit Jeruk	- Karbonisasi dan aktivasi dengan KOH suhu 180°C selama 6 jam -Sulfonasi dengan H ₂ SO ₄ suhu 200°C selama 24 jam dalam reaktor autoklaf yang berlapiskan teflon.	Katalis karbon tersulfonasi untuk produksi biodiesel dari CAO (Corn Acid Oil) dan metanol	Biodiesel diperoleh 91,68% pada kondisi reaksi optimum dengan Box- Behnken Design (BBD) konsentrasi katalis 5%; rasio molar CAO (5mL), metanol =1:19,95 dan waktu reaksi 274 menit.	(Lathiya <i>et al.</i> , 2018)

4.	Batu bara bitumen	- Karbonisasi pada suhu 350°C selama 2 jam -Sulfonasi dengan asam sulfat pada suhu 90°C selama 4 jam	Katalis karbon tersulfonasi untuk produksi biodiesel dari asam oleat dan metanol	Sintesis katalis karbon dioptimalkan suhu 350°C dan suhu sulfonasi 95°C, mengkatalisis esterifikasi asam oleat dengan metanol didapat biodiesel sebesar 98,70%	(Tang <i>et al.</i> , 2019)
----	-------------------	---	--	--	-----------------------------

C. Karbon Sabut Pinang

Pinang (*Areca catechu L.*) termasuk tanaman dari famili *Arecaceae*, dengan batang tegak, diameter melingkar 15 cm dan tinggi 15-20 m. Komposisi dari serat pinang adalah 32,98% hemiselulosa, 7,20% lignin, 53,20% selulosa, dan 4,81% komponen lain yang tersisa dalam serat pinang. Saat ini buah pinang sudah menjadi produk dan juga sudah diekspor dari Indonesia ke berbagai negara Asia seperti Nepal, India, dan Pakistan. Namun, untuk kulit pinang belum digunakan secara optimal, dan hanya dibuang oleh petani (Frida *et al.*, 2019).

Senyawa flavonoid yang terkandung dalam sabut pinang adalah senyawa fenolik yang dapat digunakan sebagai antioksidan. Senyawa ini menghidrogenasi atom radikal bebas yang menghentikan langkah pertama reaksi. Sehingga flavonoid menekan peroksidasi lipid dan kerusakan jaringan yang disebabkan oleh radikal bebas. Salah satu kegunaan tradisional pinang secara konvensional adalah untuk pengobatan mimisan, diare, disentri, bisul dan malaria. Sabut pinang juga dapat dimanfaatkan untuk mengobati

gangguan pencernaan, edema, dan beri-beri yang disebabkan oleh sedikitnya urin. Pinang itu sendiri paling banyak digunakan campuran dalam menyirih (Sagita & Hadriyati, 2020)

Pengolahan buah pinang meninggalkan residu berupa sabut pinang. Selama ini hanya digunakan sebagai bahan baku kuas alis dan kuas gambar. Penggunaan sabut pinang untuk manfaat lainnya seperti sebagai adsorben tidak ada. Menurut Panjaitan (2008), sabut pinang dalam sabut pinang terkandung air, abu dan selulosa. Kandungan selulosa buah pinang mencapai 70,2%. Kehadiran selulosa dalam buah pinang diduga dapat digunakan sebagai sumber karbon untuk produksi karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben (Syauqi *et al.*, 2016).

Pemanfaatan sabut pinang dijadikan sebagai karbon aktif untuk bahan dasar yang dapat digunakan sebagai adsorben ion Pb(II) dalam air. Aktivasi karbon dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) pada berbagai konsentrasi. Karbon aktif yang didapatkan dimanfaatkan untuk mengadsorpsi Pb(II) dalam larutan. Parameter yang diselidiki adalah konsentrasi Pb(II) terhadap kapasitas adsorpsi karbon aktif (Sitanggang *et al.*, 2017).

Karbon aktif dari kulit buah pinang digunakan untuk menyerap pewarna hijau perunggu dari larutan berair. Mohammad et al menyelidiki kemampuan kulit buah pinang untuk menghilangkan Cr, Cd, dan Pb dari larutan berair. Sathish dan rekan-rekannya memproduksi biodiesel dari minyak biji pinang menggunakan reaksi dua langkah yaitu pra-esterifikasi diikuti dengan transesterifikasi karena minyak biji pinang mengandung sejumlah besar asam

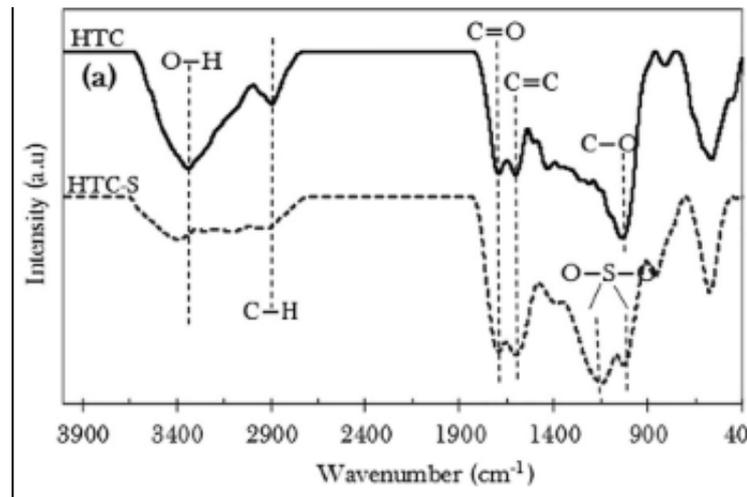
lemak bebas (FFA). Karbon aktif dari buah pinang dengan metode aktivasi kimia menggunakan asam fosfat berfungsi sebagai penyerap zat warna yang efektif (Vinu & Binitha, 2019).

D. Karakterisasi Katalis

Umumnya dilakukan 2 macam karakterisasi katalis, pertama local stuktur seperti IR dan UV. Kedua bulks structure seperti XRD, TEM, SEM, BET, situs asam, dan TGA. Namun pada penelitian ini yang dilakukan hanya karakterisasi menggunakan FTIR, XRD dan situs asam, karena lebih menjawab proses sulfonasi dengan H_2SO_4 .

1. FTIR

Analisis FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi yang terdapat pada sampel. Prinsip kerja FTIR adalah mengidentifikasi gugus fungsi suatu senyawa dari hasil adsorpsi inframerah senyawa tersebut. Setiap senyawa menyerap pola yang berbeda sehingga senyawa tersebut dapat dibedakan. Bahan tersebut memiliki sifat kimia dengan kompleks dan dilaporkan oleh FTIR. Perubahan posisi pita dan intensitas dalam spektrum FTIR dikaitkan dengan perubahan komposisi kimia material (Alkinfalabi *et al.*, 2019).



Gambar 3. Spektrum FTIR katalis HTC dan HTC-S

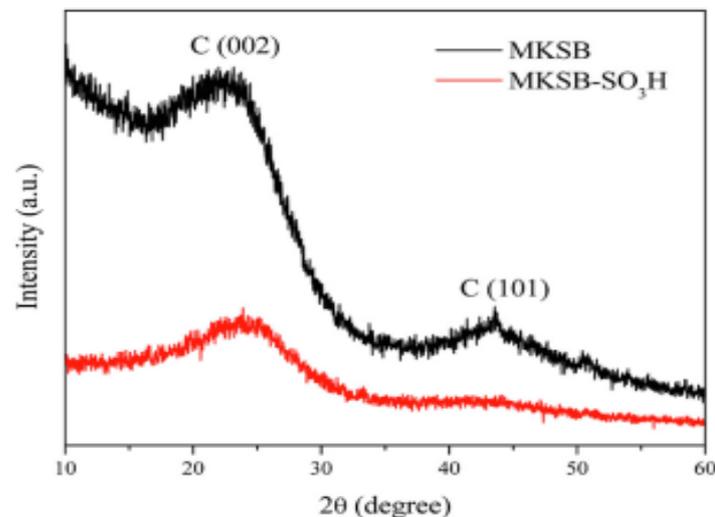
Spektrum FTIR diatas menunjukkan bahwa pita serapan pada 158 dan 102 cm^{-1} berhubungan dengan perubahan tegangan cincin aromatik C=C dari karbon polisiklik. Kehadiran gugus $-\text{SO}_3\text{H}$ yang terkait secara kovalen dalam struktur karbon polisiklik HTC-S dikonfirmasi oleh pita getaran kuat pada 1028 dan 1149 cm^{-1} , yang terkait dengan keadaan ekspansi asimetris C-O-SO₃H. Kehadiran puncak tersebut menunjukkan bahwa aktivitas kimia menghilangkan sejumlah besar hidrogen dari katalis (Ibrahim *et al.*, 2020).

2. XRD

XRD merupakan karakterisasi berdasarkan hamburan sinar-X oleh elektron atom yang membentuk kristal. Interferensi konstruktif sinar-X yang tersebar merupakan sinar difraksi yang bertindak sebagai refleksi spekular dari bidang atom normal dalam kristal. Ukuran pantulan yang ideal adalah $10^{-5}/10^{-7}\text{m}$, dan jika ukuran kristal kurang dari sekitar 10^{-8}m , kristal tersebut terlalu kecil untuk difraksi (Majuste *et al.*, 2013).

XRD menggunakan rentang pemindaian theta 2° hingga 60° dan panjang gelombang $1,5 \text{ \AA}$ pada suhu kamar.

Difraksi sinar-X mempelajari struktur kristal menurut intensitas maksimum, informasi tentang struktur kristal (faktor suhu, posisi atom dan analisis kuantitatif fase dan tekstur). Bentuk puncak memberikan informasi tentang kontribusi ekspansi sampel (Ross, 2019).



Gambar 4. Pola XRD untuk MKSB dan MKSB–JADI3H

Pola difraksi XRD MKSB dan MKSB- SO_3H , puncak lebar pada $2\theta = 15^\circ\text{-}30^\circ$ dan puncak minimum pada $2\theta = 40^\circ\text{-}50^\circ$ masing-masing sesuai dengan tingkat kristalografi (002) dan (101). Lebar puncak mendekati kisaran $2\theta = 15^\circ\text{-}30^\circ$ merupakan karakteristik dari struktur karbon amorf. Dibandingkan dengan MKSB, struktur MKSB- SO_3H yang lebih kaku dan amorf adalah pada intensitas yang lebih lemah dari puncak ini. Hal ini disebabkan oleh kombinasi proses karbonasi dan sulfonasi pada suhu tinggi, mengakibatkan rusaknya ikatan C-O-C, sehingga mengganggu peningkatan lembaran karbon (Bastos *et al.*, 2020).

3. Situs Asam

Faktor utama yang mempengaruhi aktivitas katalitik katalis ditentukan oleh tingkat reaksi, terutama oleh kekuatan asam dan jumlah situs aktif yang dapat diakses dipermukaan katalis. Dalam hal ini bertujuan untuk menentukan gugus sulfonat apakah berhasil terbentuk setelah karbon disulfonasi, karena terindikasi bahwa katalis yang memiliki kekuatan asam kuat yang dapat meningkatkan laju reaksi. Kandungan asam (-SO₃H) yang terkandung ditentukan menggunakan metode titrasi asam basa.

E. Analisis Sifat Biodiesel

Parameter standar biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015, antara lain (Wibowo *et al.*, 2019) :

Tabel 2. Syarat mutu biodiesel B100 SNI 7182:2015

No	Parameter	Satuan	Nilai	Metode
1	Massa jenis (40°C)	kg/m ³	850- 890	ASTM D4052
2	Viskositas kinematik(40°C)	mm ² /s (cSt)	2,3 - 6,0	ASTM D445
3	Angka setana	Min	51	ASTM D
4	Titik nyala (wadah tertutup)	°C	100	ASTM D93
5	Bilangan asam	mg-KOH/g	0.5-0,8	ASTM D664
6	Angka Iodium	%-massa	115	AOCS Cd 1-25
7	Kadar ester Metil	%-massa	96.5	Perhitungan
8	Titik Kabut	°C	18	ASTM D5773/D2500
9	Air dan sedimen	%-volume	0.05	ASTM D2709
10	Gliserol Bebas	%-massa	0.02	AOCS Ca14-56
11	Gliserol Total	%-massa	0.24	AOCS Ca14-56

Beberapa parameter uji yang akan dilakukan yaitu densitas, viskositas, bilangan asam dan persen konversi.

1. Densitas

Densitas terkait dengan nilai dan energi termal yang diproduksi mesin diesel per satuan volume. Semakin kecil bahan bakar maka akan semakin rendah densitasnya dan sebaliknya, semakin besar bahan bakar maka akan semakin tinggi densitas. Dari kebanyakan studi sifat-sifat biodiesel yang dihasilkan berada dalam kisaran rentang standar yang ditetapkan.

2. Viskositas

Viskositas merupakan ukuran hambatan aliran cairan. Untuk menyelidiki perilaku aliran bahan baku dan sampel biodiesel (Ishola *et al.*, 2020). Pengukuran viskositas akan dilakukan dengan pengujian laju alir, karena viskositas berbanding terbalik dengan laju alir. Laju alir tinggi maka viskositas rendah dan begitupun sebaliknya.

2. Bilangan Asam

Bilangan asam adalah jumlah asam lemak bebas yang ada sebagai bahan bakar dalam sampel. Asam lemak bebas adalah asam mono karboksilat jenuh atau tidak jenuh yang terbentuk dalam suatu minyak atau lemak, banyaknya asam lemak menentukan tinggi rendahnya suatu asam. Kandungan asam dalam bahan bakar tidak boleh tinggi karena dapat menyebabkan karatan pada mesin (Atabani *et al.*, 2012).

3. Persen Konversi

Dapat diperoleh dari pengurangan nilai bilangan asam dari bahan baku dan nilai bilangan asam dari produk dibagi dengan nilai bilangan asam dari bahan baku.

BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

1. Sabut pinang berpotensi dijadikan sebagai sumber karbon dalam sintesis katalis karbon tersulfonasi melalui proses karbonasi dan sulfonasi menggunakan H_2SO_4 . Sifat fisikokimia sabut pinang tersulfonasi berdasarkan karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan gugus sulfonat yang tersubstitusi pada pita serapan dengan panjang gelombang 1179 cm^{-1} dan 1038 cm^{-1} . Katalis dengan jumlah situs asam tertinggi diperoleh dalam sampel pada variasi suhu kalsinasi 350°C yaitu sebesar $0.0754\text{ mmol.g}^{-1}$.
2. Aplikasi katalis karbon sabut pinang tersulfonasi untuk produksi biodiesel dari *palm fatty acid distillate* diperoleh persen konversi tertinggi pada katalis sabut pinang pada variasi suhu kalsinasi 350°C yaitu sebesar 54,54%.
3. Nilai densitas, viskositas, dan bilangan asam yang dihasilkan mengalami penurunan dibandingkan PFAD.

B. SARAN

Diharapkan penelitian ini dapat dilanjutkan dengan mendapatkan hasil yang sesuai dengan standar yang berlaku. Disarankan juga untuk melanjutkan penelitian terkait beberapa variasi waktu kalsinasi ataupun waktu sulfonasi, serta disarankan melakukan karakterisasi sampel untuk menentukan keasaman pada permukaan katalis menggunakan TPD-NH₃.

DAFTAR PUSTAKA

- 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., Yunus, R., & Taufiq-Yap, Y. H. 2017. Synthesis of biodiesel from palm fatty acid distillate using sulfonated palm seed cake catalyst. *Renewable Energy*, 111, 611–619.
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., 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>
- Bangun, N., Manullang, W., Panggabean, L., Sembiring, S. B., Simangunsong, R., Bali, P., & Panjaitan, F. R. 2015. Performance of Tetraphenylsulfonato Disilane in Catalytic Transesterification of Crude Palm Oil and Esterification of Fatty Acids with Secondary Alcohols. *Procedia Chemistry*, 14, 295–300. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.03.041>
- 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>
- Basso, R. C., De Almeida Meirelles, A. J., & Batista, E. A. C. (2013). Densities and viscosities of fatty acid ethyl esters and biodiesels produced by ethanolysis from palm, canola, and soybean oils: Experimental data and calculation methodologies. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 52(8), 2985±2994. <https://doi.org/10.1021/ie3026899>
- 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>
- Bureros, G. M. A., Tanjay, A. A., Cuizon, D. E. S., Go, A. W., Cabatingan, L. K., Agapay, R. C., & Ju, Y. H. (2019). Cacao shell-derived solid acid catalyst for esterification of oleic acid with methanol. *Renewable Energy*, 138, 489±501. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.082>
- Cao, M., Peng, L., Xie, Q., Xing, K., Lu, M., & Ji, J. (2021). Sulfonated Sargassum horneri carbon as solid acid catalyst to produce biodiesel via esterification. *Bioresource Technology*, 324(December 2020), 124614.
- Colombo, R., & Papetti, A. 2019. Avocado (*Persea americana* Mill.) by-products and their impact: from bioactive compounds to biomass energy and sorbent material for removing contaminants. A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 943–951.