SULFONASI KARBON DARI HASIL VARIASI WAKTU KALSINASI BIJI ALPUKAT SEBAGAI KATALIS ASAM PADAT DALAM PEMBUATAN BIODISEL

SKRIPSI

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

DIKO PERNANDO
14036004 / 2014

PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2018

PERSETUJUAN SKRIPSI

SULFONASI KARBON DARI HASIL VARIASI WAKTU KALSINASI BIJI ALPUKAT SEBAGAI KATALIS ASAM PADAT DALAM PEMBUATAN BIODISEL

Nama	**: Diko Pernando**
Nim	**: 14036004**
Program Studi	**: Kimia**
Jurusan	**: Kimia**
Fakultas	**: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

Padang, Mei 2018

Pembimbing I	**Pembimbing II**
Umar Kalmar Nizar, M.Si, Ph.D	**Drs. Bahrizal, M.Si**
NIP.19770311 200312 1 003	**NIP. 19551231 198903 1 009**

HALAMAN PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan didepan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Kimia
Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Judul: Sulfonasi Karbon dari Hasil Variasi Waktu Kalsinasi Biji Alpukat sebagai Katalis Asam Padat dalam Pembuatan Biodisel

Nama : Diko Pernando

NIM : 14036004

Program Studi : Kimia

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Mei 2018

Tim Penguji

Nama		TandaTangan
1. Ketua	: Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D	
2. Sekretaris	: Drs. Bahrizal, M.Si	
3. Anggota	: Sherly Kasuma Warda Ningsih, S.Si, M.Si	
4. Anggota	: Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D	
5. Anggota	: Dr. Hardeli, M.Si	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Diko Pernando
TM/NIM	: 14036004/2014
Tempat/Tanggal Lahir	: Simalanggang/ 13 Januari 1996
Program Studi	: Kimia
Jurusan	: Kimia
Fakultas	: MIPA
Alamat	: Jorong Kubu Gadang, Nagari Taeh Baruah, Kec. Payakumbuh, Kab. Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat
No.HP/Telepon	: 082284267235
Judul Skripsi	: Sulfonasi Karbon dari Hasil Variasi Waktu Kalsinasi Biji Alpukat sebagai Katalis Asam Padat dalam Pembuatan Biodisel

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/ skripsi ini adalah hasil dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademi (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 daftar pustaka.
4. Karya tulis/ skripsi ini sah apabila telah ditandatangani **Asli** oleh tim pembimbing dan tim pengujian

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, Mei 2018
Yang membuat pernyataan,

Diko Pernando
NIM : 14036048

ABSTRAK

Diko Pernando (2018) : Sulfonasi Karbon dari Hasil Variasi Waktu Kalsinasi Limbah Biji Alpukat sebagai Katalis Asam Padat dalam Pembuatan Biodisel

Katalis asam padat berbasis karbon tersulfonasi (KBAS) untuk pembuatan biodisel telah berhasil disintesis dan diaplikasikan. Katalis disintesis dengan mengkalsinasi biji alpukat pada suhu 250^{o}C dengan variasi waktu dan dilanjutkan dengan proses sulfonasi selama 6 jam. Katalis yang dihasilkan dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-ray Difraction* (XRD), *Temperature Programmed Desorption-Amoniak* (TPD-NH_3). Sampel karbon sebelum disulfonasi (KBA) juga dikarakterisasi sebagai pembanding. Hasil karakterisasi dari sampel KBAS menunjukkan bahwa pusat aktif asam (-SO_3H) dari H_2SO_4 terdeteksi pada bilangan gelombang sekitar 1200-1100 cm^{-1}. Hal ini mengindikasikan bahwa gugus sulfonat (-SO_3H) terikat secara kovalen pada karbon biji alpukat karena pita serapan pada bilangan gelombang 1200-1100 cm^{-1} tidak terdeteksi pada sampel KBA. Jumlah asam yang tersubstitusi maksimum dihasilkan dari sampel KBAS4 sebesar 5531.4 µmol/g. Pola difraksi dari kedua sampel KBA dan KBAS menunjukkan bahwa kedua sampel memiliki fasa amorf. Aktifitas katalitik dari katalis KBAS diuji dalam pembuatan biodisel dari reaksi minyak sawit dengan metanol. Hasil reaksi menunjukkan bahwa semakin tinggi jumlah situs aktif asam pada katalis maka kualitas biodisel yang dihasilkan semakin tinggi.

Kata kunci: katalis asam padat, karbon biji alpukat, sulfonasi, biodisel, transesterifikasi

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis haturkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul "*Sulfonasi Karbon dari Hasil Variasi Waktu Kalsinasi Biji Alpukat sebagai Katalis Asam Padat dalam Pembuatan Biodisel"*. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Umar Kalmar Nizar, M.Si, Ph.D. sebagai pembimbing I.
2. Bapak Drs. Bahrizal, M.Si sebagai pembimbing II sekaligus Penasihat Akademik.
3. Bapak Dr. Hardeli M.Si, Ibu Sherly Kasuma Warda Ningsih, M.Si, dan Bapak Budhi Oktavia, M.Si. Ph.D sebagai Dosen penguji.
4. Bapak Dr. Mawardi, M.Si sebagai Ketua Jurusan Kimia.
5. Bapak Hary Sanjaya, M.Si sebagai Ketua Program Studi Kimia.
6. Bapak Prof. Taufik Yap Yun Hin. Ph.D sebagai Pimpinan Laboratorium Katalis University Putra Malaysia
7. Pranata Laboratorium pendidik Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang
8. Kedua Orang tua penulis dan teman-teman yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Dengan bantuan semua pihak skripsi ini dapat penulis selesaikan, semoga segala bantuan, dorongan dan pengorbanan yang telah diberikan menjadi amal ibadah dan dibalas dari Allah swt. Amin

Akhirnya, untuk kesempurnaan skripsi ini, maka dengan kerendahan hati penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis haturkan terima kasih.

Padang, Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK i
KATA PENGANTAR ii
DAFTAR ISI iv
DAFTAR GAMBAR vi
DAFRTA TABEL viii
DAFTAR LAMPIRAN ix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi Masalah 5
1.3 Batasan Masalah 5
1.4 Rumusan Masalah 6
1.5 Tujuan Penelitian 6
1.6 Manfaat penelitian 7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 8
2.1 Katalis Homogen dan Heterogen 8
2.2 Katalis Asam Padat 9
2.3 Sulfonasi Karbon 10
2.4 Karbonisasi Biji Alpukat 12
2.5 Biodisel 15
2.6. Karakterisasi Kalsinasi dan Sulfonasi Katalis 20
2.6.1 *Fourier Transform Infrared* (FTIR) 20
2.6.2 *X-ray Difraction* (XRD) 23
2.6.3 *Temperature Programmed Desorption* (TPD) 25
BAB III METODE PENELITIAN 27
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian 27
3.2 Variabel Penelitian 27

3.3 Alat dan Bahan 28
3.3.1 Alat 28
3.3.2 Bahan 28
3.2 Prosedur Penelitian 28
3.2.1 Preparasi Katalis 29
A. Karbonisasi Biji Alpukat 29
B. Sulfonasi Korbon Biji Alpukat 29
3.2.2 Karakterisasi katalis asam padat 30
A. *Fourier Transform Infrared* (FTIR) 30
B. *X-ray Difraction* (XRD) 30
C. *Temperature Programmed Desorption* Amonia (TPD-NH_3). 31
3.2.3 Pembuatan Biodisel Dari Minyak Sawit Bimoli 31
3.2.4 Karakterisasi dan Uji Sifat Fisika Biodisel 32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 33
4.1 Karakterisasi sifat fisikokimia karbon sebelum dan sesudah sulfonasi 33
4.1.1 Spektra FTIR 33
4.1.2 Spektra XRD 38
4.1.3 Spektra TPD-NH_3 42
4.2 Aplikasi katalis KBAS dalam pembuatan biodisel 43
4.2.1 Uji sifat fisika biodisel 44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 49
5.1 Kesimpulan 49
5.2 Saran 49
REFERENSI 50
LAMPIRAN 53

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

2.1 Mekanisme sulfonasi karbon 12
2.2 Struktur senyawa tannin..... 13
2.3 Struktur karbon biji alpukat 15
2.4 Pori karbon biji alpukat..... 15
2.5 Reaksi esterifikasi asam lemak bebas (FFA) dengan metanol yang di katalis asam padat..... 16
2.6 Mekanisme reaksi esterifikasi asam lemak bebas menggunakan katalis asam padat dalam produksi biodisel 17
2.7 Reaksi transesterifikasi trigliserida menghasilkan biodiesel..... 18
2.8 Mekanisme reaksi konversi trigliserida menjadi biodisel menggunakan katalis asam 19
2.9 Data FTIR karbon tersulfonasi H_2SO_4..... 22
2.10 Data FTIR katalis asam padat berbasis karbon a) sebelum sulfonasi , b) setelah sulfonasi 23
2.11 Hasil XRD katalis asam padat berbasis karbon a) sebelum sulfonasi, b) setelah sulfonasi 25
2.12 Analisis TPD-NH_3 (a) karbon ICS, (b) katalis ICS..... 26
4.1 Data FTIR karbon biji alpukat (KBA) 36
4.2 Spektra FTIR Karbon biji alpukat tersulfonasi (katalis KBAS) 37
4.3 Spektra XRD sampel karbon biji alpukat yang dikalsinasi dengan variasi waktu 1,2,3,4,dan 5 jam 38

4.4 Spektra XRD karbon biji alpukat setelah sulfonasi (KBAS) 39
4.5 Spektra TPD karbon biji alpukat katal 41
4.6 Grafik jumlah fraksi pusat asam (SO_3H) pada karbon dan katalis KBAS 42
4.7 Produk biodisel dan minyak bimoli 44
4.8 Hubungan antara jumlah fraksi pusat aktif asam (SO_3H) katalis dengan densitas, laju alir, dan bilangan asam biodiesel 48

DAFRTA TABEL

Tabel Halaman

2.1 Sifat fisika biodisel standar 20

4.1.1 Pusat aktif asam sampel karbon sebelum dan setelah sulfonasi 42

4.2.1 Sifat fisika minyak bimoli dan biodisel menggunakan katalis KBAS. 45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema kerja proses kalsinasi limbah biji alpukat	53
2. Skema kerja proses sulfonasi hasil kalsinasi limbah biji alpukat .	54
3. Karakterisasi karbon biji alpukat dan katalis KBAS.....	55
4. Skema kerja aplikasi katalis asam padat untuk produksi biodisel	56
5. Penentuan sifat fisika Biodise…….	57
6. Spektra FTIR karbon biji alpukat dan katalis KBAS.....	60
7. Spektra XRD karbon biji alpukat dan katalis KBAS	62
8.Data dan perhitungan hasil uji sifat fisika biodisel	64
9. Data perhitungan bahan pembuatan biodisel	70
10. Foto katalis KBAS dan produk biodisel	71

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil (diesel) merupakan bahan bakar utama bagi masyarakat dunia saat ini. Tingginya permintaan dan konsumsi bahan bakar fosil menyebabkan ketersediaannya berkurang di alam karena tidak dapat diperbaharui. Hal ini juga menyebabkan tidak menentunya harga minyak dunia. Selain itu, tingginya konsumsi bahan bakar fosil menyebabkan banyak permasalahan lingkungan. Beberapa masalah lingkungan akibat proses permbakaran bahan bakar fosil adalah polusi udara, tingkat toksisitas yang tinggi, dan terjadinya pemanasan global karena efek rumah kaca. Oleh karena itu, upaya pengembangan bahan bakar alternatif yang bersumber dari sumber daya terbarukan menjadi salah satu langkah dunia saat ini untuk mengatasi semua persoalan tentang bahan bakar fosil. Salah satu bahan bakar yang potensial untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif adalah biodisel (Lokman, 2016; Zhang *et al*., 2014)

Biodisel dapat dijadikan bahan bakar pengganti solar, karena memiliki sifat yang hampir sama seperti minyak solar dan ramah lingkungan(Hidayat *et al*., 2015). Akan tetapi energi yang dilepaskan dari biodisel lebih besar dari energi yang dihasilkan dari minyak solar sehinga diharapkan dapat memberikan manfaat besar bagi masyarakat (Lokman, 2016). Beberapa kelebihan biodisel lainnya adalah non-toksisitas, biodegradasi, bebas sulfur , emisi gas buang CO yang kecil , titik flash

lebih tinggi, dan angka cetane yang lebih baik di bandingkan minyak fosil (Tamborini *et a*l., 2015; Moradi *et al.*, 2015).

Biodisel dikenal sebagai senyawa metil ester asam lemak (FAME) yang dapat diproduksi melalui reaksi transesterifikasi atau esterifikasi dari sumber terbarukan seperti minyak sawit, minyak kedelai, minyak bunga matahari dan minyak jarak (Carlos *et al*., 2011; Moradi *et al*., 2015). Minyak kelapa sawit sangat potensial digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodisel karena Indonesia merupakan produsen terbesar di dunia (Hidayat *et al.*,2015). Kelebihan minyak sawit sebagai bahan baku pembuatan bidodiesel adalah memiliki kadar FFA yang tinggi, masa tumbuh berkisar 25-30 tahun dan tahan terhadap perobahan cuaca.

Pegunaan katalis dalam pembuatan biodisel bertujuan untuk mempercepat laju reaksi karena reaksi pembentukan biodisel adalah reaksi kesetimbangan yang berlangsung lambat. Secara umum katalis yang digunakan dalam pembuatan biodisel adalah katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang mempunyai fasa yang sama dengan reaktan. katalis homogen yang umum digunakan adalah katalis asam (H_2SO_4) dan katalis basa (KOH dan NaOH). Proses pemisahan katalis dengan produk berlangsung rumit karena fasa katalis sama dengan produk. Selain itu katalis basa dapat menyebabkan pembentukan sabun sehingga mengurangi pembentukan biodisel. Adanya kelemahan yang di temukan dalam penggunaan katalis homogen maka dilakukan suatu terobosan melalui penggunaan katalis heterogen.

Katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fasa yang berbeda dengan reaktan, dimana reaktan dapat berupa gas atau cair (Talha dan Sulaiman, 2016). Material ini terbagi atas dua jenis yaitu katalis asam padat dan katalis basa padat. Katalis basa padat juga merupakan suatu material yang dapat berperan untuk produksi biodisel. Beberapa katalis basa padat yang sering digunakan untuk produksi biodisel adalah kelompok oksida logam alkali tanah (CaO dan MgO) dan logam transisi (ZnO). Akan tetapi material ini memiliki kelemahan yaitu hanya cocok untuk minyak dengan pesentase *free fatty acid* (FFA) rendah karena dengan persentase FFA tinggi akan menyebabkan terjadinya reaksi saponifikasi (Talha dan Sulaiman, 2016).

Katalis asam padat dapat digunakan sebagai alternatif dalam mengatasi kekurangan katalis basa padat. Beberapa kelebihan dari katalis ini adalah tidak sensitive terhadap persentase FFA tinggi, mencegah terjadinya reaksi saponikasi walaupun persentase FFA dalam minyak tinggi dan dapat melalukan reaksi esterifikasi dan transesterifikasi bersamaan. Katalis ini dapat diregenerasi atau digunakan kembali, mengurangi masalah korosi, menghilangkan langkah mencuci biodisel, dan proses pemisahan katalis yang sederhana (Talha dan Sulaiman, 2016).

Katalis asam padat dapat berasal dari kelompok oksida logam yang disulfonasi, keasaman permukaan dari oksida binerri dan sulfonasi karbon dari bahan organik. Katalis asam padat berbasis karbon yang di sulfonasi dapat di sintesis dari senyawa senyawa organik bahan alam. Sulfonasi berfungsi untuk membentuk pusat aktif asam ($-SO_3H$) di permukaan material karbon. Bahan bahan organik yang dijadikan sumber karbon adalah pati , serbuk kayu, jerami tumbuhan gandum, dan minyak biji

jarak (Wang *et al*., 2015; Jyoti *et al*., 2015; Lokman, 2016). Sebagai contoh sumbernya adalah pati dimana pusat aktif asam terbentuk pada permukaan dan sangat cocok untuk sintesis biodisel dengan kandungan FFA tinggi (Lokman, 2016).

Biji alpukat (*Persea Americana)* merupakan limbah organik yang dihasilkan dari proses komersial. Limbah ini telah dimanfaatkan sebagai sumber biodisel, obat-obatan (tannin), adsoben dan pupuk kompos (Hiwot, 2017). Namun demikian masih banyak biji alpukat yang ditemukan menumpuk dan menjadi limbah padat karena kurang dimanfaatkan. Biji alpukat sebagian besar mengandung pati sehingga banyak digunakan sebagai sumber karbon untuk karbon aktif (adsorben) (Weatherby, 1934)

Penggunaan biji alpukat sebagai sumber karbon telah dilaporkan dengan menggunakan metoda kalsinasi (Julius, 2015). Kalsinasi (karbonisasi) merupakan dekomposi termal untuk menghilangkan spesies non karbon untuk memperoleh massa karbon. Massa karbon biji alpukat (KBA) yang dikalsinasi dilaporkan menghasilkan struktur berbentuk grafit, karbon berpori, dan permukaan yang luas (Julius, 2015). Oleh karena itu, dari sifat sifat yang dimiliki material karbon hasil kalsinasi biji alpukat menunjukkan bahwa KBA sangat potensial digunakan sebagai katalis karbon biji alpukat tersulfonasi (KBAS).

Berdasarkan uraian diatas, dalam penelitian ini disintesis katalis asam padat yang bersumber dari biji alpukat melaui metode kalsinasi dan sulfonasi. Sintesis material dilakukan dengan memvariasikan suhu kalsinasi. Katalis yang dihasilkan di karakterisasi dengan menggunakan *difraksi sinar-X* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Temperature Programmed Desorption* Amonia (TPD-NH_3).

Biodisel yang dihasilkan ditentukan sifat-sifat fisikanya seperti laju alir, densitas, dan bilangan asam.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Menipisnya ketersedian bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui maka dibutuhkan bahan bakar yang berasal dari biodisel. Biodesel adalah bahan bakar ramah lingkungan yang sifatnya mirip dengan solar untuk mesin disel.
2. Biodisel pada umumnya di sintesis dengan menggunakan katalis homogen yang memiliki kelemahan yaitu sulit dipisahkan dari produk. Oleh sebab itu, pembuatan katalis asam padat berbasis limbah karbon dapat membantu mengatasi masalah yang di timbulkan oleh katalis homogen dan pemanfaatan limbah yang potensial.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Katalis asam padat disintesis menggunakan metode sulfonasi dengan variasi waktu kalsinasi biji alpukat selama 1-5 jam pada suhu 250 ^{o}C.
2. Karakterisasi sifat fisikokimia katalis asam padat berbasis karbon limbah biji alpukat menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-ray Difraction* (XRD), *Temperature Programmed Desorption-Amoniak* (TPD-NH_3).

3. Katalis asam padat berbasis karbon biji alpukat diaplikasikan untuk membuat biodisel dari minyak kelapa sawit.
4. Pengujian sifat fisika biodisel dibatasi pada uji densitas, laju alir, dan bilangan asam.

1.4 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah sifat fisikokimia dari katalis asam padat yang disintesis melalui sulfonasi karbon hasil kalsinasi biji alpukat ?
2. Bagaimanakah sifat-sifat fisika dari biodisel dari reaksi minyak sawit dan metanol menggunakan katalis asam padat dari sulfonasi karbon hasil kalsinasi biji alpukat ?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis KBAS dan mempelajari sifat fisikokimia KBAS berdasarkan hasil karakterisasi dengan FTIR, XRD, dan TPD-NH_3.
2. Melakukan uji aktivitas katalitik KBAS dalam reaksi pembuatan biodisel dan menentukan sifat-sifat fisika biodisel yang dihasilkan (densitas, laju alir dan bilangan asam).

1.6 Manfaat penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan informasi tetang sifat-sifat fisikokimia KBAS berdasarkan hasil karakterisasi dari FTIR, XRD dan TPD-NH_3.
2. Memberikan informasi tentang sifat fisika (densitas, laju alir, dan bilangan asam) produk biodisel yang dihasilkan dari reaksi minyak sawit dan metanol menggunakan KBAS.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Katalis Homogen dan Heterogen

Katalis merupakan suatu material yang di tambahkan ke dalam suatu reaktan untuk mempercepat laju reaksi tanpa merobah kesetimbangan. Material ini bercampur dan ikut bereaksi dengan suatu reaktan, tetapi kembali kebentuk material awal setelah reaksi selesai. Berdasarkan fasanya katalis dikelompokan atas katalis homogen dan heterogen.

Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fasa sama dengan reaktan. Material ini sering digunakan untuk produksi biodisel. Penggunaan katalis homogen sebagai katalis untuk produksi biodisel memiliki kekurangan yaitu terjadinya reaksi saponifikasi jika konsentrasi FFA > 2% didalam minyak (Moreira et al., 2015) dan proses pemisahan yang sulit dari produk. Contoh katalis homogen yang umum digunakan yaitu kalium hidroksida (KOH), kalium metoksida ($KOCH_3$), natrium hidroksida (NaOH), natrium metoksida ($NaOCH_3$), dan natrium etoksida ($NaOCH_2CH_3$) (Talha & Sulaiman, 2016).

Katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fasa yang berbeda dengan reaktan. Disebutkan dalam beberapa sumber bahwa katalis heterogen umumnya adalah padat (Chemistry & Li, 1977). Penggunaan katalis heterogen sangat menjanjikan karena dapat mengurangi biaya produksi biodisel yang tinggi. Oleh karena itu, banyak penelitian yang sedang diarahkan pada pengembangan katalis heterogen ramah lingkungan dan hemat biaya untuk produksi biodisel. Beberapa

contoh katalis ini adalah Oksida logam alkali tanah (MgO, CaO, dan SrO) (Moradi et al., 2015). Hal ini dikarenakan katalis ini memiliki aktivitas yang tinggi pada suhu rendah dan di bawah kondisi tekanan atmosfer (Talha dan Sulaiman, 2016). Katalis heterogen umumnya digolongkan atas dua kelompok yaitu katalis basa padat dan katalis asam padat.

Katalis basa padat merupakan suatu material yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan katalis homogen dalam produksi biodisel (Talha dan Sulaiman, 2016). Contoh material ini yang sering digunakan untuk produksi biodisel adalah oksida logam alkali tanah (Cao dan MgO) (Moradi *et al*., 2015; Ramli *et al*., 2017; Birla *et al.*, 2011). Hal ini dikarenakan material tersebut memiliki luas permukaan yang besar, lebih aktif ,dan memiliki laju reaksi transesterifikasi yang tinggi (Thanh, Okitsu, Boi, & Maeda, 2012). Contoh katalis ini yang telah dilaporkan adalah kalsium oksida (CaO), katalis ini memberikan banyak keuntungan seperti aktivitas yang lebih tinggi, kehidupan katalis yang panjang, dan bisa berjalan dalam kondisi reaksi moderat. Akan tetapi, material ini juga memiliki kekurangan sebagai katalis karena dapat memperlambat laju reaksi untuk produksi biodisel karena terjadinya reaksi penyabunan akibat persentase FFA tinggi dalam minyak (Talha dan Sulaiman, 2016).

2.2 Katalis Asam Padat

Katalis asam padat adalah material yang mengandung pusat aktif asam pada permukaan katalis (Thanh et al., 2012). Baru baru ini, material ini telah menjadi suatu

proyek penelitian yang menjanjikan untuk produksi biodisel karena memiliki kelebihan dari katalis basa padat. Beberapa kelebihan material tersebut adalah tidak sensitive terhadap kandungan *Free Fatty Acid* (FFA) tinggi, mencegah terjadinya reaksi saponikasi walaupun kadar FFA dalam minyak tinggi (Endut et al., 2017), dapat melakukan reaksi esterifikasi dan transesterifikasi, dapat diregenerasi, mengurangi masalah korosi, menghilangkan langkah mencuci biodisel dan proses pemisahan katalis yang sederhana (Cheng *et al*., 2016; Talha dan Sulaiman, 2016). Selain itu, katalis asam padat lebih disukai daripada katalis asam cair karena mereka mengandung beberapa pusat dengan kekuatan yang berbeda dari keasaman Bronsted atau Lewis. Katalis asam Bronsted memiliki keuntungan untuk esterifikasi dan transesterifikasi dengan menggunakan bahan baku yang mengandung asam lemak bebas dengan konsentrasi tinggi (Talha dan Sulaiman, 2016).

Beberapa contoh katalis asam padat yang biasa digunakan dalam esterifikasi dan reaksi transesterifikasi produksi biodisel adalah oksida logam, zeolit, hydrotalcites, γ-alumina, oksida tungsten, zirconia sulfonasi (SZ), sulfonasi sakarida, resin Nafionl, dan organosulphoric seperti silika mesopori. Sebagian besar katalis ini adalah alkali atau alkali oksida yang memiliki area permukaan besar (Atadashi *et al.*, 2012 ; Thanh *et al*., 2012; Ramli *et al*., 2017).

2.3 Sulfonasi Karbon

Sulfonasi karbon adalah suatu metode pembentukan pusat aktif asam sulfonat ($–SO_3H$) dengan konsentrasi yang tinggi pada permukaan karbon (Moreira *et al*.,

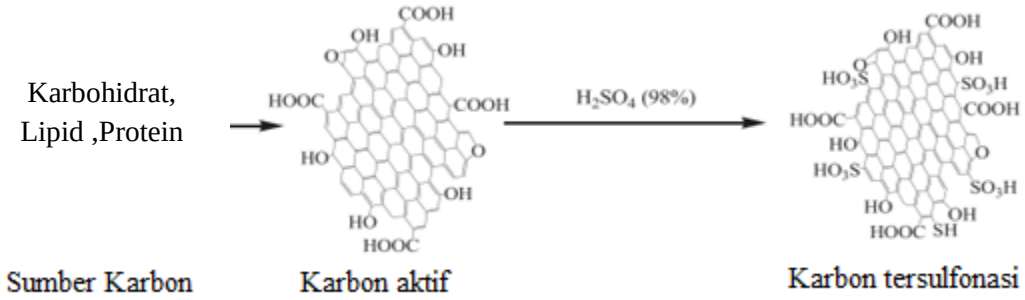
2015; Lokman, 2016). Tujuan sulfonasi karbon adalah menghasilkan katalis padat yang memiliki pusat asam di permukaan karbon sehingga dihasilkan material katalis asam padat. Berbeda dengan katalis lainya, katalis asam padat berbasis karbon ini memiliki kelebihan seperti dapat mencegah terjadinya pembentukan emulsi atau saponifikasi, proses pemisahan katalis dari produk tidak rumit dan tidak menghasilkan limbah yang berbahaya bagi lingkungan (Mardhiah *et al.,* 2017).

Karbohidrat, lignin, dammar, ampas tebu, dan glukosa telah dilaporkan sebagai sumber karbon untuk material karbon tersulfonasi (Moreira et al., 2015). Karbon hasil kalsinasi pati yang disulfonasi telah dilaporkan sebagai katalis asam padat untuk reaksi esterifikasi distilat asam lemak kelapa sawit (PFAD). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa karbon tersulfonasi mampu mengkonversi PFAD menjadi biodisel hingga 90,4%. Material yang dihasilkan memiliki laju alir pusat aktif asam nya tinggi di permukaan karbon serta aktivitas katalitik dalam produksi biodisel dengan kadar FFA tinggi sangat tinggi (Lokman, 2016).

Katalis berbasis karbon tersulfonasi juga dihasilkan dari karbon sisa kalsinasi biji bijian (biji jarak pagar dan biji kacang polong) yang mengandung protein, karbohidrat, dan lipid dalam pembuatan biodisel (Gambar 2.1) . Aplikasi katalis ini dalam mengkonversi asam lemak bebas mempu mencapai 97%. Hal ini tidak terlepas dari sifat sifat fisiko kimia yang dimiliki karbon dari biji bijian tersebut seperi struktur mesopori, stabilitas yang tinggi dan luas permukaan.

Tempurung kelapa juga telah dilaporkan sebagai sumber karbon untuk katalis asam padat karbon tersulfonasi. Katalis ini diaplikasikan pada reaksi transesterifikasi

antara minyak sawit dengan metanol. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa katalis ini mampu mengkonversi minyak sebesar 88%.



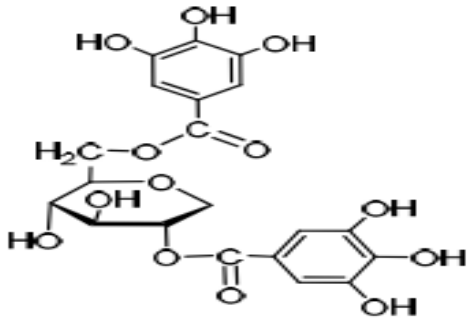
Gambar 2.1 mekanisme sulfonasi karbon (Jyoti et al., 2015).

Katalis asam padat berbasis karbon adalah material didasari oleh karbon amorf yang terdiri dari lembaran karbon aromatik polisiklik berukuran kecil yang terdapat pusat aktif asam pada permukaan karbon. Sebagai contoh penelitian terbaru mengenai material ini adalah katalis asam padat berbasis karbon yang bersumber dari pati dengan dipersiapkan melalui proses reaksi sulfonasi. Telah dilaporkan juga bahwa metode sulfonasi mengakibatkan pusat aktif asam terbentuk di permukaan karbon, dan hal ini sangat efektif untuk sintesis biodisel dengan kandungan FFA tinggi (Lokman, 2016; Win & Somsook, 2012).

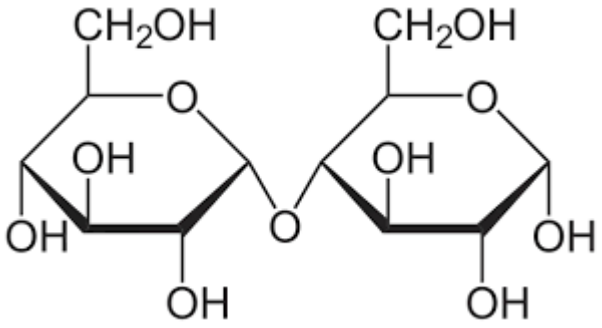
2.4 Karbonisasi Biji Alpukat

Alpukat merupakan buah yang banyak ditemui di negara tropis khusunya Indonesia. Di indonesia buah alpukat sudah menjadi makan kesukaan bagi kebanyak orang. Pada umumnya buah alpukat memanfaatkan daging buahnya untuk dijadikan beraneka ragam jus atau minuman lainya. Satu masalah yang sering timbul dari buah

ini adalah limbah bijinya yang menjadi limbah yang cukup mengangu. Pada dasarnya biji alpukat ini memiliki komposisi yang cukup bagus bila dimanfaatkan. Diantara manfaatnya yaitu biji alpukat ini mengandung minyak yang dapat diektrak melalui tahapan tertentu. Kandungan lain yang terdapat dalam biji alpukat adalah senyawa phenolik yang dapat berupa senyawa tannin yang berguna sekali untuk kesehatan dan kandungan utama biji alpukat adalah karbohidrat sebanyak 74.65% (Vinha, Moreira, Jorge, & Ferreira, 2013) . Adapun struktur dari senyawa ini dapat dilihat pada Gambar 2.2



a)

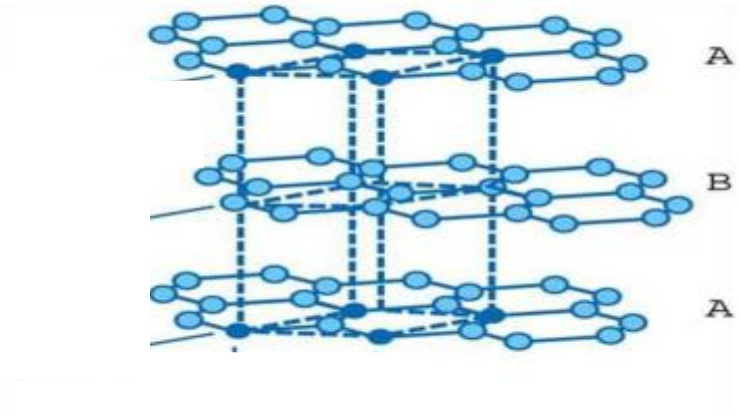


b)

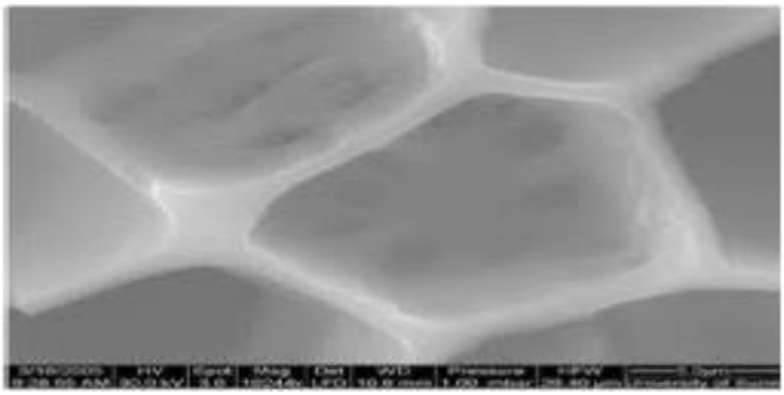
Gambar 2.2 struktur senyawa a) tannin dan b)pati

Karbonisasi merupakan dekomposi termal untuk menghilangkan spesies non karbon dan menghasilkan massa karbon. Material karbon telah banyak digunakan sebagai penyangga katalis dalam berbagai aplikasi industri dan lingkungan karena stabilitas yang baik, luas permukaan yang tinggi, dan biaya rendah untuk di produksi secara komersial (Liu et al., 2010). Kalsinasi biji alpukat akan menghasilkan massa karbon dan struktur karbon berpori (Julius, 2015). Proses ini biasanya di lakukan di bawah suhu 800^{o}C dalam suasana inert karena suhu diatas 800^{o}C menyebabkan pengerasan truktur karbon dan penurunan porositas (Julius, 2015). Struktur karbon biji alpukat yang dihasilkan berbentuk kristal grafit, memiliki luas permukaan yang besar serta volume pori yang tinggi telah disajikan pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4.

Contoh penelitian yang berkaitan tentang aktivitas karbon biji alpukat salah satunya adalah pemanfaatan arang aktif atau karbon aktif dari biji alpukat. Pemanfaatan material ini salah satunya sebagai adsorben yang baik untuk adsorben limbah logam berat seperti ion pb^{+2} dalam air (Julius, 2015). Dari hasil penelitian dilaporkan bahwa material karbon memiliki permukaan yang luas serta ukuran pori yang baik maka sangat potensial untuk meningkatkan pusat asam $–SO_3H$ pada permukaan katalis. Meningkatnya pusat asam pada permukaan katalis dapat mempercepat laju reaksi pembentukan biodisel(Lokman, 2016).



Gambar 2.3 struktur karbon biji alpukat (Julius, 2015).



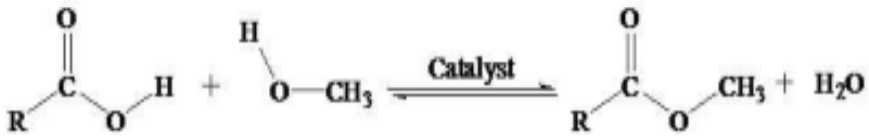
Gambar 2.4 pori karbon biji alpukat (Julius, 2015)

2.5 Biodisel

Biodisel merupakan bahan bakar terbarukan dan biodegradable dengan sifat yang mirip dengan minyak solar yang terdiri dari asam lemak metil ester (Wang et al., 2015). Biodisel dapat dihasilkan dari sumber hijau seperti minyak nabati, lemak hewani serta minyak yang bearsal dari industri makanan. Biodisel memiliki beberapa keunggulan dibandingkan minyak solar yaitu aman digunakan , terbarukan,

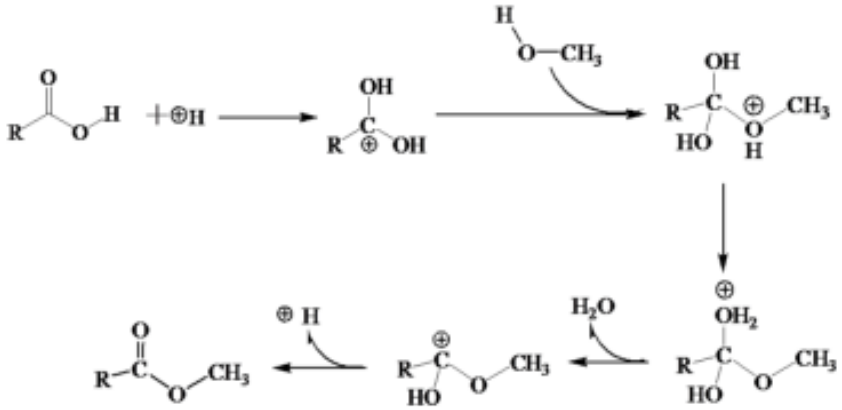
tidak beracun , biodegradable, tidak mengandung sulfur serta merupakan pelumas yang sangat baik. Meskipun perbedaan kimia kedua bahan bakar ini berbeda tetapi memiliki sifat dan kinerja yang mirip (Lokman, 2016). Bahan bakar diesel berbasis non minyak bumi, dapat produksinya dilakukan dengan dua metode reaksi kimia yaitu melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi gliserida.

Esterifikasi merupakan proses konversi asam lemak dari minyak nabati atau lemak dengan metanol menghasilkan alkil ester (metil ester). Reaksi ini dapat terjadi dengan menggunakan minyak nabati yang mengandung konsentrasi FFA yang tinggi dengan penambahan alkohol sehingga terbentuklah alkil ester. Reaksi esterifikasi dapat di lihat pada Gambar 2.5.



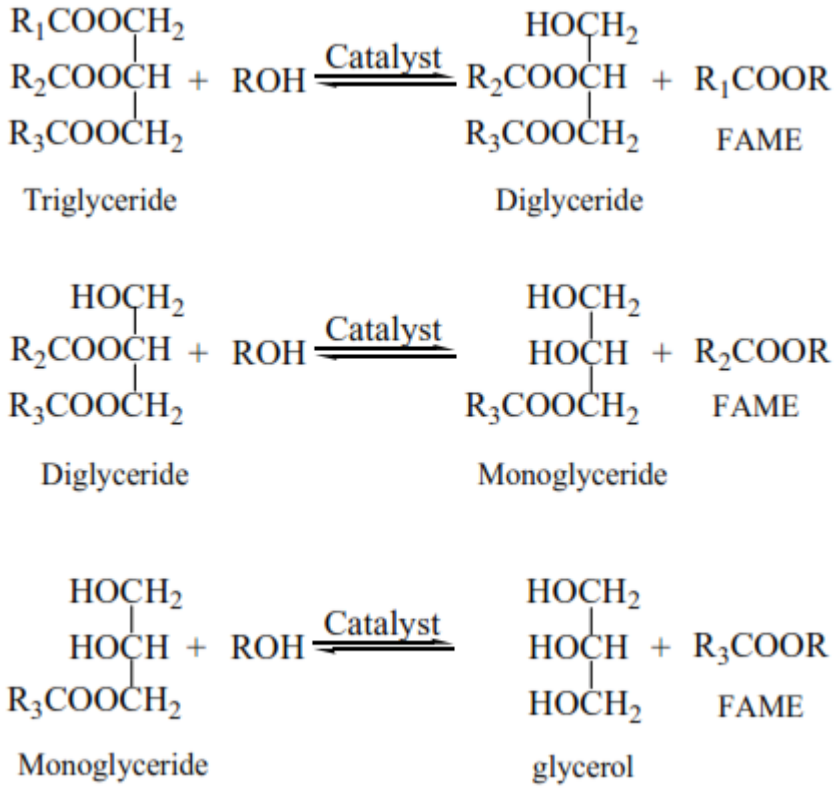
Gambar 2.5 reaksi esterifikasi asam lemak bebas (FFA) dengan metanol yang di katalis asam padat (Guo & Fang, 2011)

Tahap-tahap proses esterifikasi FFA untuk membentuk biodisel dapat dilihat pada Gambar 2.6. Pertama, katalis asam padat yang bertindak sebagai donor proton (H^+) akan memprotonasi C Carbonil pada FFA dan terbentuklah karbokation. Selanjunya nukleofilik (metanol) akan memyerang karbokation membentuk intermediet tetrahedral. Tahap terakhir yaitu biodisel akan terbentuk setelah proton berpindah sehingga kerangga intermediet tetrahedral menggalami perombakan sehinnga proton akan terbentuk kembali (Guo dan Fang, 2011).



Gambar 2.6 mekanisme reaksi esterifikasi asam lemak bebas menggunakan katalis asam padat dalam produksi biodisel

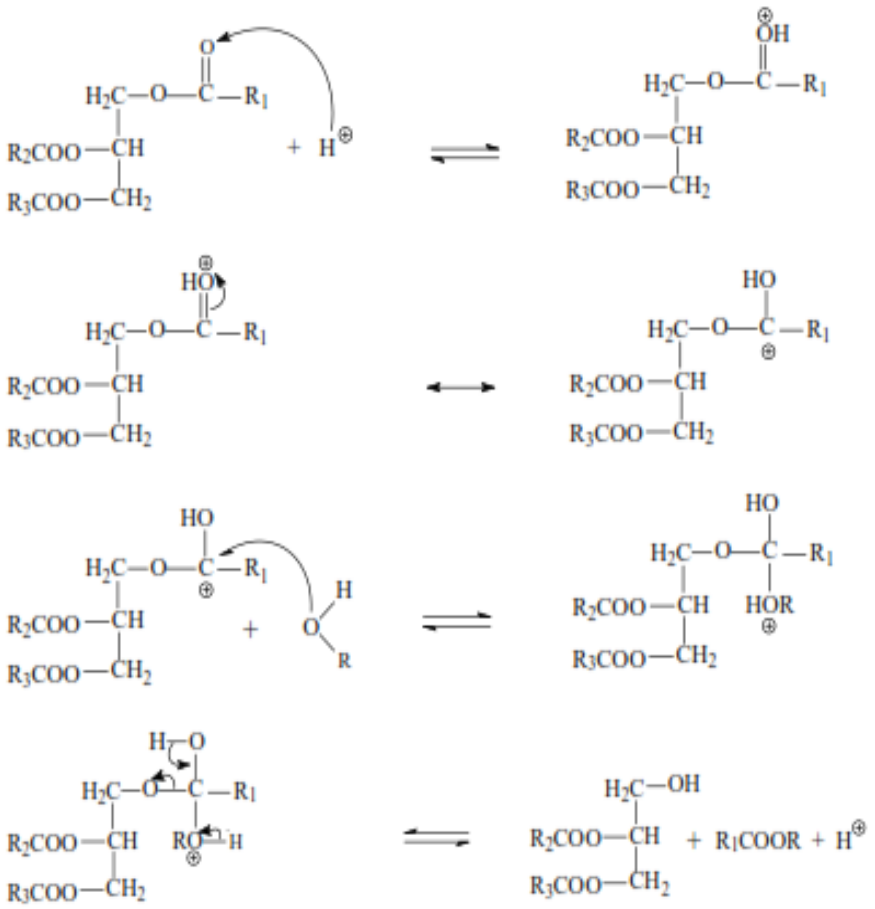
Transesterifikasi adalah proses transformasi minyak (trigliserida) membentuk alkil ester (biodisel) dan gliserol. Proses transformasi trigliserida ada bebrapa senyawa yang berperan diantaranya alkohol seperti metanol atau etanol, dan katalis (Talha dan Sulaiman, 2016). Reaksi ini berbeda dengan reaksi esterifikasi karena reaksi ini terdiri dari tiga reaksi berturut-turut dan reversible, dimana trigliserida diubah dalam digliserida, dan monogliserida dan gliserin (Carlos *et al*., 2011). Reaksi tersebut lebih kompleks karena adanya proses pembentukan digliserida dan monogliserida dapat membentuk biodisel (FAME), seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.7. proses terakhir pada reaksi transesterifikasi adalah terbentuknya biodisel (FAME) dari monogliserida (Guo dan Fang, 2011).



Gambar 2.7 reaksi transesterifikasi trigliserida menghasilkan biodisel

Tahap-tahap proses reaksi transesterifikasi yang diilustrasikan pada Gambar 2.8, pertama, trgliserida diprotonasi oleh proton(H^+) pada kelompok C karbonil trigliserida, digliserida dan monogliserida yang terjadi pada permukaan katalis asam padat sehingga membentuk karbokation. Selanjutnya, terjadi penyerangkan nukleofilik oleh metanol ke karbokation sehingga terbentuk kerangka tetrahedral (zat perentara). Terbentuknya zat perentara ini menyebabkan proton berpindah yang diikuti dengan berubahnya struktur zat antara. Setelah perombakan zat antara ini terbentuklah produk metal ester (biodisel) (Guo dan Fang, 2011; Thanh *et al*., 2012).

Katalis asam



Gambar 2.8 mekanisme reaksi konversi trigliserida menjadi biodisel menggunakan katalis asam (Thanh et al., 2012).

Produk biodisel yang dihasilkan dari proses esterifikasi dan transesterifkasi harus memiliki sifat fisika standar agar dapat digunakan sebagai bahan baka sebagai biodisel . Adapun contoh sifat fisika suatu biodisel standar dapat di lihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat fisika biodisel standar ASTM D6751 (Ved *et al*., 2013)

Parameter / satuan	harga
Calorific (kJ/kg)	41,800–44,800
Acid (mg KOH)	< 0.8
Viscosity (40 ^{o}C) St (mL^2/s)	0.23-0.60
Density 30 ^{o}C (kg/m^3)	0.8750–0.90
Flash point (^{o}C)	100-170
Cloud point (^{o}C)	-3 – 12
Pour point (^{o}C)	-115 – 16

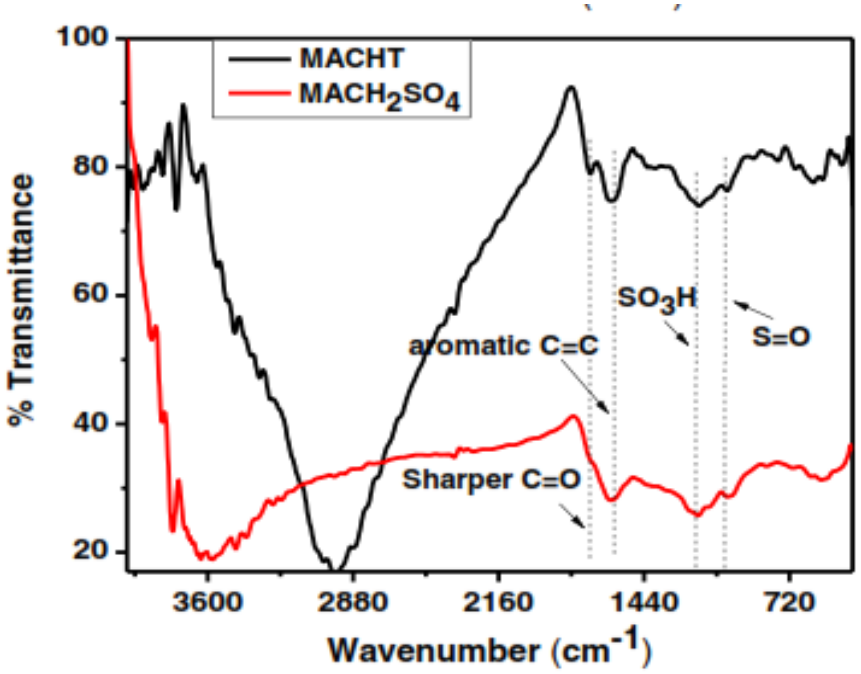
2.6. Karakterisasi Kalsinasi dan Sulfonasi Katalis

2.6.1 *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) merupakan metode analisis kualitatif dan kuantitatif yang berfungsi untuk menentukan gugus fungsi suatu senyawa organik. Metode spektroskopi didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Absorbsi inframerah oleh suatu materi dapat terjadi jika dipenuhi dua syarat, yaitu kesesuaian antara frekuensi radiasi inframerah dengan frekuensi vibrasional molekul sampel dan perubahan momen dipol selama bervibrasi. Dalam penelitian ini spektroskopi FTIR berfungsi untuk menentukan sgugus fungsi senyawa karbon tersulfonasi dari hasil kalsinasi dan sulfonasi limbah biji alpukat.

Baru baru ini katalis asam padat berbasis karbon dari pati telah dilaporkan sebagai material katalis untuk produksi biodisel. Hasil karakterisasi menggunakan teknik spektroskopi FTIR (Perkin Elmer, 1725 X) yang discanning pada bilangan gelombang 500-4000 cm^{-1} menunjukkan pita serapan pada bilangan gelombang 1700cm^{-1} untuk korbon sebelum sulfonasi (ICS) dan bilangan gelombang 1590cm^{-1} setelah sulfonasi (ICS-SO_3H). Struktur C-O-SO_3H simetrik dan asimetrik juga teramati pada struktur karbon tersulfonasi kelompok CSI-SO3H dengan bilangan gelombang 1030cm^{-1} - 1140 cm^{-1}(Lokman, 2016).

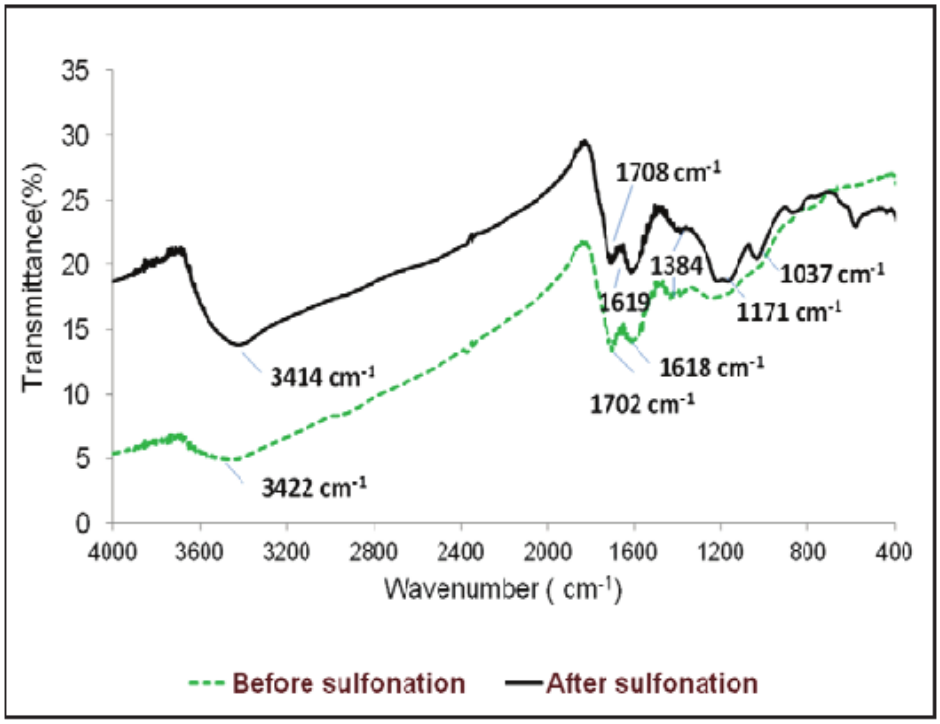
Katalis asam padat berbasis karbon yang bersumber dari biji jarak pagar (mengandung protein, karbohidrat) telah dilaporkan menggunakan teknik FT-IR dengan butiran KBr pada Nicolet (Impact 410) FT-IR spektrofotometer. Data yang diperoleh menjukkan bahwa keberhasilan proses sulfonasi ditandai dengan kehadiran kelompok -SO_3H di permukaan yang dikonfirmasi pada bilangan gekombang 1110-1118 cm^{-1}. Adanya penyerapan yang lemah pada bilangan gelombang 1003 cm^{-1}-1018 cm^{-1} merupakan ikatan S=O. Dalam penelitian tersebut pita serapan pada bilangan gelombang 1171 cm^{-1} -1175cm^{-1} dan 1267-1270 cm^{-1} merupakan peregangan ikatan -SO3H. Data yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 2.9 (Jyoti et al., 2015).



Gambar 2.9 data FTIR karbon tersulfonasi H_2SO_4 (Jyoti et al., 2015).

kacang hijau juga telah dilaporkan sebagai sumber pembuatan katalis asam padat untuk produksi biodisel. Metode Analisis menggunakan spektra fourier-transform Infrared (FTIR) yang mengandung butiran KBr. Teknik yang digunakan adalah FT- IR system 2000 (Perkin-Elmer) spectrometer dengan resolusi 4 cm^{-1} yang di scanning pada range 400-4000 cm^{-1} (Win dan Somsook, 2012). Data yang diperoleh menunjukkan bahwa katalis asam padat berbasis karbon tersulfonasi dari sulfonasi karbon bihun kacang hijau terdiri dari karbon aromatik polisiklik dengan kelompok fungsionl COOH, -OH, dan -SO_3H. Pada bilangan gelombang 3412 cm^{-1} - 3422 cm^{-1}merupakan peregangan iktan O-H untuk kelompok –COOH dan gugus –OH untuk fenol. Puncak kecil yang lemah di sekitar 1702 cm^{-1} - 1708 cm^{-1} merupakan gugus C = O untuk kelompok -COOH, dan puncak serapan cicin

poliaromatik C = C pada 1619 dan 1384 cm^{-1}. Puncak pada bilangan gelombang 1035 cm^{-1} merupakan perangan senyawa O=S=O (simetri) dan bilangan gelombang 1171 cm^{-1}(tidak simetri). Data yang dijelaskan dapat di amati pada Gambar 2.10 (Win dan Somsook, 2012).



Gambar 2.10 data FTIR katalis asam padat berbasis karbon a) sebelum sulfonasi , b) setelah sulfonasi (Win & Somsook, 2012)

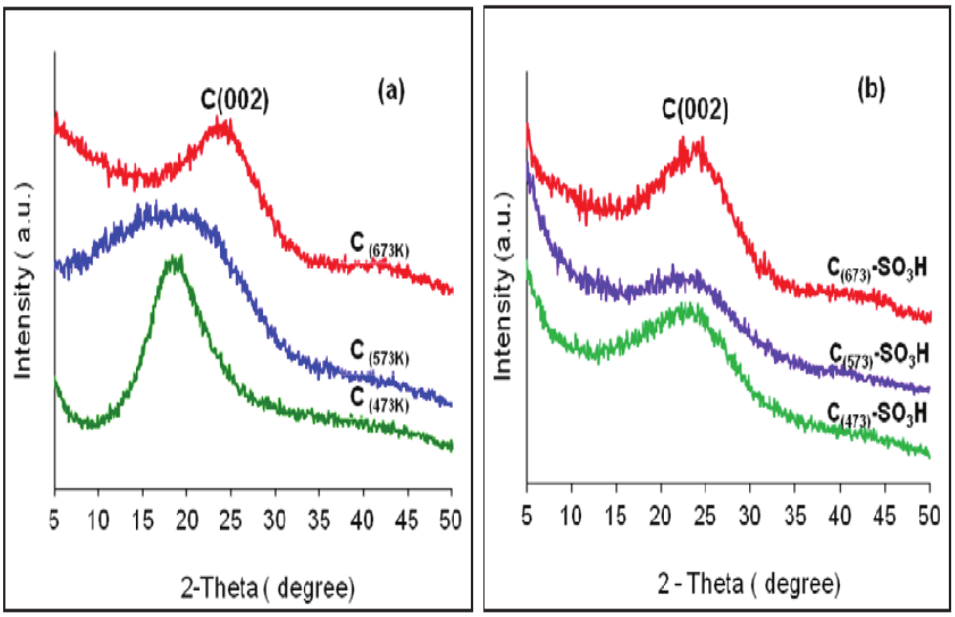
2.6.2 *X-ray Difraction* (XRD)

X-ray Difraction (XRD) adalah suatu instrumental untuk mengkarakterisasi struktur material padat menggunakan sumber sinar-X. Jika suatu sampel ditembak oleh sinar X maka bidang sampel akan membiaskan sinar X tersebut. Sinar X yang dibiaskan akan diterima oleh detector yang akan di terjemahkan menjadi puncak

puncak difraksi. Puncak puncak difraksi yang dihasilkan mewakili sutau bidang struktur (Kristal ,amorf) yang memiliki orientasi tetentu dalam sumbu tiga dimensi.

Karakterisasi asam padat berbasis karbon dari pati telah dilaporkan menggunakan difraksi sianar X (XRD) (Shimadzu, XRD 6000) sebelum dan sesudah sulfonasi dengan range 2 theta dari 2^o - 60^o dengan kecepatan laju scanning 4^o per menit. Dari hasil karakterisasi didapatkan hasil berupa luas permukaan karbon yang baik dan puncak difraksi yang lemah pada 2 b = 10-30^o dan 2 b = 35-50^o. Hasil lain yang diperoleh yaitu ditemukan struktur karbon berbentuk amorf yang terdiri dari cincin karbon polisiklik pada daerah (101) dan (002). Daerah C(101) mengindikasikan sumbu dari struktur grafit yang disusun oleh lembaran lembaran karbon yang mungkin utuk reaksi esterifikasi (Liu et al., 2010; Lokman, 2016).

kacang hijau sebagai sumber karbon katalis asam padat dari proses kalsinasi dan sulfonasi telah dilaporkan menggunakan XRD. Teknik yang digunakan adalah intrumen XRD D8 radiasi Cu-Ka 0.15406 nm, yang di operasikan pada 40 kV dan 40 mA pada range 2 theta 10^0-60^0 dengan langkah terbesar 0.075 yang discanning dengan kecepatan 7^o/ menit. Hasil karakterisasi yang diperoleh menunjukkan bahwa struktur katalis asam padat dari bihun kacang hijau yang baik dikalsinasi pada suhu 573 K. Hal ini dikarenakan pada suhu 573^{o}C menghasilkan lembaran karbon yang fleksible dan menyebabkan pusat asam dapat terbentuk pada permukaan karbon. Data XRD dari katalis asam padat dari kacang hiaju dapat diamati pada Gambar 2.11 (Win dan Somsook, 2012).



Gambar 2.11 hasil XRD katalis asam padat berbasis karbon a) sebelum sulfonasi, b) setelah sulfonasi (Win dan Somsook, 2012).

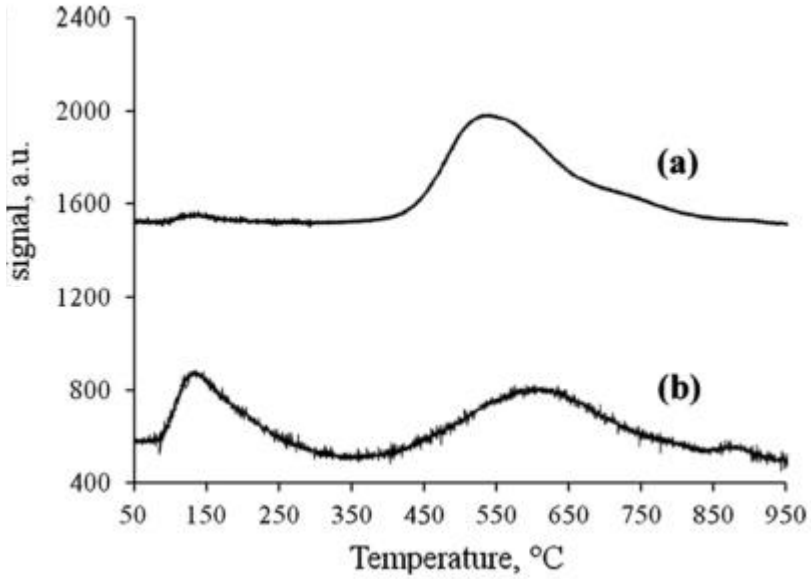
2.6.3 *Temperature Programmed Desorption* (TPD)

TPD merupakan suatu instrument yang dapat digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif jumlah komponen keasaman atau kebasaan suatu material. Metode yang digunakan adalah proses pengukuran desorpsi suatu molekul dari permukaan suatu material yang dipengaruhi oleh suhu atau temperature yang meningkat.

Peristiwa adsorpsi gas NH_3 terjadi ketika suatu molekul datang dan berinteraksi dengan permukaan katalis yang bersifat asam. Hal ini menyebabkan penurunan energy sehingga membentuk ikatan kimia dengan permukaan material. Dengan meningkatnya temperature dipermukaan maka energy ikatan antara molekul NH_3 menjadi lemah dan terjadi pemutusan ikatan yang disebut peristiwa desopsi.

Dengan metode tersebut dapat diperoleh jumlah molekul yang diadsorpsi dari permukaan akibat pengaruh kenaikan temperature.

Lokman (2016) telah melaporkan bahwa katalis asam padat berbasis karbon tersulfonasi dapat ditentukan jumlah pusat aktif asam SO_3H menggunakan instrument TPD amonia. Pada Gambar 2.12 dapat dilihat intensitas puncak karbon sebelum dan sesudah disulfonasi. Dari Gambar tersebut dilaporkan bahwa katalis katalis ICS-SO_3H terdapat pusat aktif asam bronsted lemah pada termperatur 100-350 ^{O}C dan pusat asam bronsted kuat pada temperature 350-950 ^{o}C pada puncaknya desopsinya 600 ^{o}C. untuk karbon sebelum sulfonasi erdapat puncak desorpsinya pada suhu 550^{o}C. sehingga dapat diketahui jumlah pusat aktif asam dipermukaan katalis ICS-SO_3H sebesar 12,53 mmol/g (Lokman, 2016).



Gambar 2.12 analisis TPD-NH_3 (a) karbon ICS, (b) katalis ICS-SO_3H

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Katalis asam padat dari karbon tersulfonasi (KBAS) dapat disintesis dari sulfonasi karbon hasil kalsinasi biji alpukat. Sifat-sifat fisikokimia KBAS berdasarkan karakterisasi dengan FTIR, XRD, dan TPD-NH_3 mempunyai serapan pada bilangan gelombang 1214-1039 cm^{-1}, amorfos, dengan situs asam tertinggi 55.314 pada sampel KBAS4.
2. Katalis KBAS dapat digunakan sebagai katalis dalam pembuatan biodisel. Sifat-sifat fisika biodisel (densitas, laju alir, dan bilangan asam) yang dihasilkan berbeda dari minyak sumber dan mendekati standar SNI terutama densitas dan bilangan asam.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu peneliti selanjutnya agar dapat melakukan pengujian tentang pengaruh waktu kalsinasi terhadap luas permukaan katalis sebagai tempat terbentuknya pusat aktif asam.

REFERENSI

Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. R. A., & Sulaiman, N. M. N. 2012. Ac ce pt us. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, (2010).

Birla, A., Singh, B., Upadhyay, S. N., & Sharma, Y. C. 2011. Author â€™ s personal copy Bioresource Technology Kinetics studies of synthesis of biodiesel from waste frying oil using a heterogeneous catalyst derived from snail shell.

Carlos A., G. F., Andrés, G.-R., & Fabio E., S. (2011). Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Biodiesel - Feedstocks and Processing Technologies*, 23–43.

Chemistry, M. S., & Li, Z. 1977. Novel solid base catalysts for Michael additions.

Cheng, J., Qiu, Y., Huang, R., Yang, W., Zhou, J., & Cen, K. 2016. Bioresource Technology Biodiesel production from wet microalgae by using graphene oxide as solid acid catalyst. *Bioresource Technology*, *221*, 344–349.

Endut, A., Hanis, S., Sayid, Y., Hanis, N., Hanapi, M., Hajar, S., … Khatoon, H. 2017. International Biodeterioration & Biodegradation Optimization of biodiesel production by solid acid catalyst derived from coconut shell via response surface methodology.

Guo, F., & Fang, Z. 2011. Biodiesel Production with Solid Catalysts. *Biodiesel Feedstocks and Processing Technologies*, 1–21

Hidayat, A., Wijaya, K., & Nurdiawati, A. 2015. Esterification of palm fatty acid distillate with high amount of free fatty acids using coconut shell char based catalyst. *Energy Procedia*, *75*, 969–974.

Hiwot, T. (2017). Determination of oil and biodiesel content , physicochemical properties of the oil extracted from avocado seed (Persea Americana) grown in Wonago and Dilla (gedeo zone), southern Ethiopia, *3*(3), 311–319.

Julius, M. mungai. 2015. *Optimizing Conditions For Preparing Activated Carbon From*.

Jyoti, L., Mäki-arvela, P., Salminen, E., Kumar, N., Jyoti, A., Mikkola, J., & Deka, D. 2015. Applied Catalysis B : Environmental Towards carbon efficient biorefining : Multifunctional mesoporous solid acids obtained from biodiesel production wastes for biomass conversion. *"Applied Catalysis B, Environmental," 176–177*, 20–35.

Liu, X., Huang, M., Ma, H., Zhang, Z., Gao, J., Zhu, Y., … Guo, X. 2010. Preparation of a Carbon-Based Solid Acid Catalyst by Sulfonating Activated Carbon in a Chemical Reduction Process, *15*, 7188–7196.

Lokman, I. M. 2016. Meso- and macroporous sulfonated starch solid acid catalyst for esterification of palm fatty acid distillate. *Arabian Journal of Chemistry*, *9*(2), 179–189.

Mardhiah, H. H., Chyuan, H., Masjuki, H. H., Lim, S., & Ling, Y. 2017. Investigation of carbon-based solid acid catalyst from Jatropha curcas biomass in biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, *144*, 10–17.

Moradi, G. R., Mohadesi, M., Ghanbari, M., Moradi, M. J., Hosseini, S., & Davoodbeygi, Y. 2015. Kinetic comparison of two basic heterogenous catalysts obtained from sustainable resources for transesterification of waste cooking oil, *6*, 236–241.

Moreira, E., Paula, A., Teixeira, D. C., Gontijo, F., Ebambi, T., Helena, M., … Montero, R. 2015. New heterogeneous catalyst for the esterification of fatty acid produced by surface aromatization / sulfonation of oilseed cake. *FUEL*, (February), 1–7.

Ramli, A., Farooq, M., Naeem, A., Ramli, A., Farooq, M., Naeem, A., … Ali, L. 2017. World â€™ s largest Science , Technology & Medicine Open Access book publisher Bifunctional Heterogeneous Bifunctional Heterogeneous Catalysts Catalysts for for Biodiesel Biodiesel Production using Low Cost Feedstocks : A Future Production using Low Cost Fe.

Talha, N. S., & Sulaiman, S. 2016. Overview of catalysts in biodiesel production. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, *11*(1), 439–442.

Tamborini, L. H., Militello, M. P., Balach, J., Moyano, J. M., Barbero, C. A., & Acevedo, D. F. 2015. Application of sulfonated nanoporous carbons as acid catalysts for Fischer esterification reactions. *Arabian Journal Of Chemistry*.

Thanh, L. T., Okitsu, K., Boi, L. Van, & Maeda, Y. 2012. Catalytic Technologies for Biodiesel Fuel Production and Utilization of Glycerol: A Review, 191–222.

Ved, K., Padam, K., & Ocor, C. H. (2013). Study of Physical and Chemical Properties of Biodiesel from Sorghum Oil, *3*(9), 64–68.

Vinha, A. F., Moreira, J., Jorge, R. De, & Ferreira, V. 2013. Physicochemical Parameters , Phytochemical Composition and Antioxidant Activity of the Algarvian Avocado (Persea americana, *5*(12), 100–109.

Wang, M., Wu, W., Wang, S., Shi, X., Wu, F., & Wang, J. 2015. Preparation and Characterization of a Solid Acid Catalyst from Macro Fungi Residue for Methyl Palmitate, *10*(3), 5691–5708.

Weatherby, L. S. 1934. Composition of Avocado Seed, 132–134.

Win, W., & Somsook, E. 2012. Sulfonic-Functionalized Carbon Catalyst for Esterification of High Free Fatty Acid. *Procedia Engineering*, *32*, 212–218.

Yu, H., Niu, S., Lu, C., Li, J., & Yang, Y. 2017. Sulfonated coal-based solid acid catalyst synthesis and esterification intensification under ultrasound irradiation. *Fuel*, *208*, 101–110.

Zhang, D., Wei, D., Ding, W., & Zhang, X. 2014. Carbon-based nanostructured catalyst for biodiesel production by catalytic distillation. *CATCOM*, *43*, 121–125.