

**SULFONASI KARBON DARI KALSINASI CANGKANG BUAH KARET  
(*Hevea brasiliensis* M.) SEBAGAI KATALIS ASAM PADAT DALAM  
PEMBUATAN BIODIESEL**

**SKRIPSI**

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



OLEH:

**MHD. CANDRA**

**NIM. 14036028.2014**

**PROGRAM STUDI KIMIA**

**JURUSAN KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

**2018**

**PERSETUJUAN SKRIPSI**

**SULFONASI KARBON DARI KALSINASI CANGKANG BUAH KARET  
(*Hevea brasilliensis M.*) SEBAGAI KATALIS ASAM PADAT DALAM  
PEMBUATAN BIODIESEL**

**Nama** : Mhd. Candra  
**Nim** : 14036028  
**Program Studi** : Kimia  
**Jurusan** : Kimia  
**Fakultas** : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

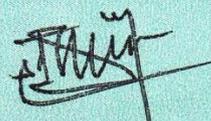
**Padang, Februari 2018**

**Dosen Pembimbing I,**



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

**Dosen Pembimbing II,**



**Drs. Bahrizal, M.Si**  
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 Kalsinasi Cangkang Buah Karet  
(*Hevea brasiliensis* M.) sebagai Katalis Asam Padat dalam  
Pembuatan Biodiesel.**

**Nama : MHD. CANDRA**

**NIM : 14036028**

**Program Studi : Kimia**

**Jurusan : Kimia**

**Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Padang, Februari 2018**

**Tim Penguji**

**Nama**

**1. Ketua : Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D**

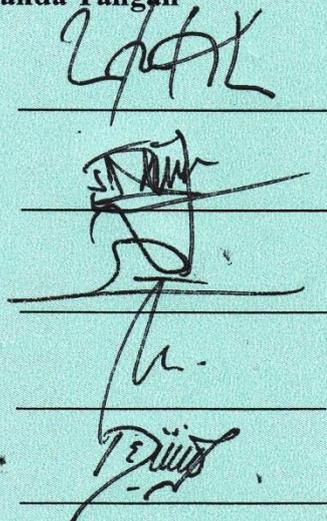
**2. Sekretaris : Drs. Bahrizal, M.Si**

**3. Anggota : Prof. Ali Amran, M.Pd, MA, Ph.D**

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

**5. Anggota : Dr. Desy Kurniawati, S.Pd, M.Si**

**Tanda Tangan**



## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

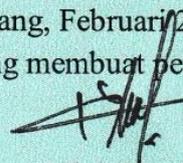
Nama : Mhd. Candra  
TM/NIM : 14036028/2014  
Tempat/Tanggal Lahir : Sei. Teguh/ 07 Mei 1996  
Program Studi : Kimia  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : MIPA  
Alamat : Sungai Teguh, Inderapura, Kecamatan Pancung Soal,  
Kabupaten Pesisir Selatan.  
No.HP/Telepon : 085264241423  
Judul Skripsi : Sulfonasi Karbon dari Kalsinasi Cangkang Buah  
Karet (*Hevea brasilliensis* M.) sebagai Katalis Asam  
Padat dalam Pembuatan Biodiesel.

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 ditandatangan **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, Februari 2018  
Yang membuat pernyataan,



Mhd. Candra  
NIM : 14036028

## ABSTRAK

**Mhd. Candra : Sulfonasi Karbon dari Kalsinasi Cangkang Buah Karet sebagai Katalis Asam Padat dalam Pembuatan Biodiesel**

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis katalis asam padat berbasis karbon tersulfonasi limbah cangkang buah karet, mengkarakterisasi sifat-sifat fisikokimia katalis, menguji aktivitas katalitik katalis untuk pembentukan biodiesel, dan menguji sifat-sifat fisika biodiesel. Katalis asam padat *Sulfonated Incomplete Carbonized Rubber-Seed Shell* (SCRS) pada penelitian ini dilakukan dengan metoda sulfonasi karbon hasil kalsinasi dengan variasi suhu 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan 450°C. Katalis yang disintesis dikarakterisasi dengan FTIR, XRF dan XRD. Data FTIR sampel karbon tersulfonasi menunjukkan adanya pita serapan pada bilangan gelombang 1040-1160  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi dari O=S=O pada gugus sulfonat. Analisa XRF memberikan informasi jumlah fraksi sulfat yang tersubstitusi pada karbon dapat mencapai 93.70% pada karbon yang dikalsinasi pada suhu 350°C. Jenis fasa sampel katalis asam padat tersulfonasi dikonfirmasi dari data XRD yang menunjukkan bahwa sampel SCRS merupakan senyawa amorf berbentuk karbon polisiklik aromatik yang tersusun secara acak. Hasil uji sifat-sifat fisika biodiesel hasil katalisis SCRS menunjukkan terjadi penurunan densitas, titik didih serta viskositas dari biodiesel yang dihasilkan seiring dengan peningkatan fraksi sulfat pada katalis. Dengan demikian pembentukan biodiesel menggunakan katalis pada penelitian ini telah memenuhi Standar Nasional Indonesia.

*Kata kunci : biodiesel, cangkang buah karet, katalis asam padat, sulfonasi.*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “*Sulfonasi Karbon dari Kalsinasi Cangkang Buah Karet sebagai Katalis Asam Padat dalam Pembuatan Biodiesel*”. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memenuhi mata kuliah Tugas Akhir II 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 sekaligus Penasihat Akademik.
2. Bapak Drs. Bahrizal, M.Si sebagai pembimbing II.
3. Prof. Shigeyuki Uemiya-sensei sebagai pembimbing Penelitian di Universitas Gifu, Jepang.
4. Bapak dan Ibu dosen penguji tugas akhir yang telah banyak memeberikan saran-saran perbaikan.
5. Bapak Dr. Mawardi, M.Si sebagai Ketua Jurusan Kimia.
6. Bapak Harry Sanjaya, M.Si sebagai Ketua Program Studi Kimia.
7. Laboran Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
8. Kedua Orang tua penulis dan teman-teman yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi penelitian ini.

Dengan bantuan semua pihak skripsi penelitian ini dapat penulis selesaikan, semoga segala bantuan, dorongan dan pengorbanan yang telah

diberikan menjadi amal ibadah dan dibalas oleh Allah SWT, Amin. Akhirnya, untuk kesempurnaan skripsi penelitian 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, Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Rumusan Masalah .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Tujuan penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Katalis Asam Padat.....	7
2.2 Kalsinasi Cangkang Buah Karet ( <i>Hevea brasiliensis</i> M.) .....	9
2.3 Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit .....	11
2.4 Karakterisasi Katalis Asam Padat .....	16
2.4.1 FTIR (Fourier Transform Infra Red) .....	16
2.4.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	18

2.4.3	<i>X- Ray Fluorescence (XRF)</i> .....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>22</b>
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	22
3.2	Variabel Penelitian.....	22
3.3	Alat dan Bahan.....	23
3.3.1	Alat.....	23
3.3.2	Bahan .....	23
3.4	Prosedur Penelitian .....	23
3.4.1	Preparasi Katalis Asam Padat .....	23
3.4.2	Karakterisasi Katalis Asam Padat .....	25
3.4.2.1	Analisa Faurier Infra Red (FTIR).....	25
3.4.2.2	Analisis XRD.....	26
3.4.2.3	Analisis XRF.....	26
3.4.3	Aplikasi katalis Asam Padat untuk pembuatan biodiesel.....	27
3.4.4	Karakterisasi dan uji sifat fisika biodiesel.....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>29</b>
4.1	Sifat Fisiko Kimia Katalis Asam Padat.....	29
4.1.1	Spektra FTIR.....	29
4.1.2	XRD (X-Ray Diffraction).....	33
4.1.3	XRF (X-Ray Fluorescence).....	36
4.2	Aplikasi Katalis untuk Pembuatan Biodiesel.....	38
4.3	UJi Sifat Fisika Biodiesel.....	30
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>27</b>

5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
<b>KEPUSTAKAAN.....</b>	<b>.44</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Struktur sulfonasi karbon pati.....	8
Gambar 2.2 Cangkang dan buah Karet.....	9
Gambar 2.3 Reaksi transesterifikasi.....	13
Gambar 2.4 Analisa gugus fungsi FTIR terhadap katalis asam padat dari pati.....	17
Gambar 2.5 Spektra IR dari (a) karbon hasil pirolisis (b) karbon hasil pirolisis tersulfonasi.....	17
Gambar 2.6 Pola XRD dari (a) karbon, (b) sulfonasi karbon.....	19
Gambar 4.1 Spektra IR karbon (a) sebelum, (b) sesudah sulfonasi.....	31
Gambar 4.2 Pola XRD karbon (a) sebelum, (b) sesudah sulfonasi. ....	34
Gambar 4.3 Identifikasi fraksi sulfat pada karbon tersulfonasi dengan XRF.....	37
Gambar 4.4 (a) Hasil setelah rekasi; (b) Hasil setelah sentrifus; (c) Biodiesel.....	38
Gambar 4.5 Hubungan antara jumlah fraksi sulfat katalis SCRS dengan viskositas, densitas dan titik didih biodiesel.....	41

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1. Komposisi Kimia Cangkang Biji Karet. ....	10
Tabel 2.2 Standar biodiesel Indonesia. ....	13
Tabel 3.1 Penamaan karbon hasil kalsinasi.....	22
Tabel 3.2. Penamaan katalis asam padat.....	25
Tabel 3.2. Penamaan biodiesel.....	28
Tabel 4.1. Persentase sulfat karbon tersulfonasi hasil analisa XRF.....	36
Tabel 4.2. Data harga densitas, viskositas, titik didih minyak bimoli dan sampel biodiesel.....	39

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain Penelitian.....	48
Lampiran 2. Preparasi katalis asam padat karbon tersulfonasi.....	49
Lampiran 3. Analisis <i>Faurier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	50
Lampiran 4. Analisis XRD.....	51
Lampiran 5. Analisis XRF.....	52
Lampiran 6. Aplikasi katalis asam padat pada pembuatan biodiesel.....	53
Lampiran 7. Karakterisasi sifat fisika biodiesel .....	54
Lampiran 8. Perhitungan Rasio Molar Minyak Kelapa Sawit dan Metanol.....	57
Lampiran 9. Data Perhitungan Hasil Uji Sifat Fisika Biodiesel.....	58
Lampiran 10. Dokumentasi Hasil Penelitian.....	60

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Minyak nabati merupakan salah satu biomasa yang sangat potensial untuk dijadikan sumber energi alternatif. Berdasarkan hasil-hasil penelitian dilaporkan bahwa minyak nabati memiliki karakteristik yang hampir sama dengan bahan bakar mesin diesel, hanya saja minyak nabati memiliki viskositas yang lebih tinggi yakni  $35-50 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$  (Thanh, et al., 2012). Sehingga minyak nabati belum bisa digunakan secara langsung sebagai bahan bakar mesin diesel. Viskositas yang tinggi menyebabkan masalah pada injeksi atomisasi bahan bakar sehingga pembakaran bahan bakar menjadi tidak sempurna (Negm, et al., 2017).

Indonesia merupakan Negara dengan area pekebunan kelapa sawit terluas di dunia dengan luas 6,5 juta hektar (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jendral Kementerian Pertanian, 2014). Pada pertengahan 2015, sekitar 5 juta hektar hutan Indonesia telah beralih menjadi perkebunan sawit dan diperkirakan akan terus mengalami perluasan sampai 20 juta hektar pada tahun 2020 mendatang. Usia produktif maksimal kelapa sawit adalah 25 tahun. Dengan demikian, ketersediaan minyak kelapa sawit sangat berlimpah di Indonesia. Kelimpahan tersebut lebih efisien jika dimanfaatkan menjadi produk kebutuhan lainnya, salah satunya adalah pembuatan biodiesel (Prabowo, et al., 2017).

Biodiesel adalah sebuah energi baru dan terbarukan. Biodiesel dapat dihasilkan dari reaksi transesterifikasi trigliserida dari minyak kelapa sawit dengan alkohol primer disertai dengan penambahan katalis. Biodiesel dari

minyak kelapa sawit punya banyak keuntungan dibandingkan minyak petroleum diantaranya: pengolahan yang mudah, dapat diperbarui, efektif dalam proses pembakaran, tidak ada bau dan belerang, bilangan cetan tinggi, berkelanjutan, menambah pendapatan, mengurangi polusi dan ramah lingkungan (Negm et al., 2017). Hanya saja, dalam untuk meningkatkan produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit perlu dilakukan studi mendalam mengenai katalisator yang digunakan.

Sejauh ini, katalis yang umum digunakan dalam pembuatan biodiesel adalah katalis homogen seperti  $H_2SO_4$ , NaOH dan KOH. Kelemahan katalis homogen adalah tidak dapat digunakan kembali, sulit dilakukan pemisahan katalis dengan produk dan biaya proses yang relatif mahal. Oleh sebab itu beberapa peneliti melakukan penelitian tentang katalis basa heterogen seperti CaO, BaO, SrO dan MgO untuk pembuatan biodiesel. Persentase biodiesel yang dihasilkan menggunakan katalis basa berkisar antara 70-85%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis basa tidak efektif karena dapat membentuk produk samping berupa sabun dari reaksi saponifikasi (Refaat, 2010).

Katalis heterogen merupakan katalis yang memiliki fasa yang berbeda dengan produk dan reaktan. Keuntungan penggunaan katalis heterogen dalam pembuatan biodiesel diantaranya : mudah dilakukan pemisahan, dapat digunakan berulang kali, tidak menyebabkan korosi, tidak berecun, ramah lingkungan, serta biaya produksi yang murah (Cheng, et al., 2016). Secara umum terdapat dua jenis katalis heterogen yaitu katalis heterogen asam dan katalis heterogen basa.

Katalis heterogen asam kini mulai menjadi pusat perhatian peneliti sebagai

pengganti katalis heterogen basa. Metode preparasi yang umum digunakan adalah sulfonasi karbon dari limbah organik. Lukman, et al., (2016) telah melakukan penelitian mengenai katalis asam padat dari amilum yang diberi nama sulfonated-incomplete carbonized of starch (ICS-SO<sub>3</sub>). Namun, katalis yang dihasilkan masih belum efektif karena ukuran pori katalis terbilang cukup lebar yakni 44 nm. Sehingga membutuhkan lebih banyak methanol dalam transesterifikasi yaitu 10:1. Penggunaan metanol yang berlebih dapat mengurangi faktor keberhasilan.

Preparasi katalis asam padat hampir sama dengan preparasi arang aktif. karbon aktif dapat dibuat dari bahan-bahan yang mengandung karbon. Salah satunya adalah dari tumbuhan, khususnya tumbuhan-tumbuhan yang mengandung lignin, selulosa, karbohidrat atau zat kayu seperti batang pohon atau bagian tumbuhan yang lain yang mengandung lignin seperti biji-bijian, kulit, cangkang, dan sebagainya (Lam & Luong, 2014).

Cangkang buah karet merupakan salah satu limbah organik yang banyak mengandung lignin namun belum banyak dimanfaatkan. Menurut Direktorat Jenderal Industri dan Kimia Departemen Perindustrian tahun 2014, cangkang buah karet oleh petani belum termanfaatkan secara optimal, tidak memiliki nilai jual dan biasanya hanya dibuang dan dibakar. Padahal bahan tersebut memiliki potensi untuk diolah menjadi produk yang lebih bermanfaat dan bernilai jual, misalnya karbon aktif (Anis et al., 2014).

Berdasarkan uraian diatas di atas, dalam penelitian ini akan dilakukan ***“Sulfonasi Karbon dari Kalsinasi Cangkang Buah Karet (Hevea brasiliensis***

## **M.) sebagai Katalis Asam Padat dalam Pembuatan Biodiesel”.**

### **1.2 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut :

1. Bahan bakar fosil dapat menyebabkan polusi atau pencemaran, tidak dapat diperbarui, sehingga ketersediannya semakin sedikit sedangkan kebutuhan bahan bakar terus meningkat , untuk itu diperlukan bahan bakar yang terbarukan dan berkelanjutan. Biodiesel merupakan bahan bakar yang alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar karena dapat diperbarui.
2. Produksi biodiesel umumnya menggunakan katalis homogen yang susah dipisahkan dari produk sehingga membutuhkan biaya yang sangat tinggi. Oleh karena itu, katalis heterogen menjadi solusi karena mudah dipisahkan dan lebih ekonomis.
3. Katalis heterogen berbasis sulfonasi karbon dapat dikembangkan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel karena dapat disintesis dari limbah organik.

### **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Katalis asam padat disintesis dari limbah cangkang buah karet dengan variasi suhu kalsinasi 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C.

2. Karakterisasi sifat fisika katalis asam padat dari limbah cangkang buah karet menggunakan FTIR, XRD dan XRF.
3. Aplikasi katalis asam padat melalui pada reaksi tranesterifikasi dan esterifikasi untuk pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit Bimoli.
4. Pengujian sifat fisika biodiesel yang dilakukan yaitu, massa jenis, viskositas, dan titik didih.

#### **1.4 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana proses sintesis katalis asam padat dari cangkang buah karet?
2. Bagaimana sifat fisikokimia dari katalis asam padat yang disintesis melalui sulfonasi karbon hasil kalsinasi limbah cangkang buah karet?
3. Bagaimana sifat fisika produk biodiesel yang disintesis dari reaksi tranesterifikasi dan esterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol menggunakan katalis asam padat?

#### **1.5 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mensintesis katalis asam padat berbasis karbon limbah cangkang buah karet menggunakan metode sulfonasi karbon hasil kalsinasi.
2. Melakukan karakterisasi dan menjelaskan sifat-sifat fisikokimia dari katalis asam padat hasil sulfonasi karbon dari kalsinasi cangkang buah karet.
3. Menguji aktifitas katalitik asam padat berbasis karbon cangkang buah karet untuk produksi biodiesel dari reaksi tranesterifikasi dan esterifikasi minyak kelapa sawit dengan methanol.

4. Menentukan sifat-sifat fisika biodiesel (massa jenis, viskositas, dan titik didih) produk biodiesel yang dihasilkan dari reaksi minyak kelapa sawit dengan metanol menggunakan katalis asam padat berbasis karbon limbah cangkang buah baret.

## **1.6 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan informasi tentang karakteristik sifat fisika katalis asam padat dengan variasi suhu kalsinasi dari limbah cangkang buah karet.
2. Memberikan informasi karakteristik sifat fisiko kimia produk biodiesel yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol menggunakan katalis asam padat.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Katalis Asam Padat**

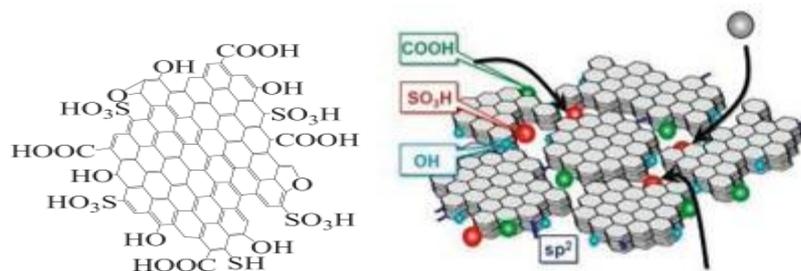
Katalis adalah suatu zat yang dapat mempercepat laju reaksi kimia pada suhu dan waktu tertentu dengan mengalami perubahan selama reaksi dan kembali ke bentuk semula di akhir reaksi (Mar & Somsook, 2012). Dalam ilmu kimia material, terdapat dua macam katalis yakni katalis asam dan katalis basa. Namun, dalam perkembangannya, katalis asam dan basa terbagi lagi menjadi asam basa homogen dan heterogen (Hatefi, et al., 2014).

Katalis homogen merupakan katalis yang mempunyai fasa yang sama dengan produk dan reaktan. Katalis yang biasa digunakan dalam pembuatan biodiesel adalah katalis homogen asam dan basa seperti  $H_2SO_4$ , NaOH dan KOH. Namun, katalis homogen ini tak dapat digunakan kembali dan sulit dilakukan pemisahan katalis dengan produk serta harga katalis yang relatif mahal (Hidayat et al., 2015). Terlebih lagi, penggunaan katalis basa NaOH dan KOH membentuk produk samping berupa sabun (Refaat, et al., 2010).

Katalis heterogen merupakan katalis yang memiliki fasa yang berbeda dengan produk dan reaktan. Reaksi transesterifikasi katalis heterogen sangat kompleks karena terjadi sistem 3 fasa yang terdiri dari padat (katalis heterogen) dan 2 fasa cair yang tidak saling bercampur antara minyak dan methanol (Atadashi, et al., 2013). Beberapa peneliti sudah melakukan penelitian tentang katalis basa heterogen seperti CaO, BaO, SrO dan MgO. Biodiesel yang

dihasilkan dari katalis basa heterogen tersebut tidak maksimal yakni hanya berkisar 70-85% (Cheng et al., 2016).

Katalis asam padat merupakan katalis heterogen yang dihasilkan dari proses substusi gugus asam terhadap karbon hasil pirolisis sampel organik menggunakan asam-asam pekat seperti  $H_2SO_4$  pada suhu dan waktu optimum (Lokman, et al., 2016). Katalis heterogen asam padat dapat dipisahkan dan dapat digunakan kembali. Katalis ini memberikan banyak keuntungan dibandingkan dengan katalis asam padat homogen. Penggunaan katalis tersebut dapat menyelesaikan permasalahan lingkungan, tidak korosi, toksisitas, serta mudah dipisahkan dari produk (Hidayat et al., 2015). Pengembangan katalis padat memberikan peluang inovasi kimia hijau di masa depan (Zhu, et al., 2015).



**Gambar 2.1.** Struktur sulfonasi karbon pada (a) pirolisis 453 K (Konwar et al., 2015), (b) pirolisis 623 K (Nakajima & Hara, 2012).

Secara umum, katalis asam padat mempunyai aktifitas katalitik yang sangat baik. Katalis asam padat dapat mengkonversi trigliserida menjadi metil ester sebanyak >90% (Zhang et al., 2015). Katalis asam padat dari sulfonasi pati mempunyai area yang lebih luas yakni  $12.4 \text{ m}^2/\text{gram}$ , pori rata-rata 44 nm dan total densitas asam  $12.54 \text{ mmol}/\text{gram}$ . Pada keadaan ini, katalis mampu mengubah minyak kelapa sawit menjadi biodiesel sebanyak 96.4% (Lokman, 2016). Aktifitas

katalitik dari katalis asam padat dari pati ini masih belum efektif karena ukuran pori yang terbilang cukup melebar. Katalis tersebut dapat digunakan berulang sampai 6 kali pemakaian (Yu, H, *et.al* ; 2016).

## 2.2 Kalsinasi Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis* M.)

Karet (*Hevea brasiliensis* M.) merupakan tanaman yang tumbuh subur di daerah dataran rendah. Ciri tumbuhan ini diantaranya memiliki banyak getah putih dan pekat, batang berkayu keras dan bercabang, daun kecil dan berbuah lebat. Tinggi batang mencapai 25 m dan berumur sampai 30 tahun. Tanaman karet mulai berbuah pada umur 4 tahun dan buah tidak musiman. Secara normal buah karet terdiri dari 3 atau 4 biji dalam satu buah dan akan jatuh saat buah sudah tua dan merekah. Buah karet merupakan limbah pertanian yang merusak lingkungan. Masing-masing pohon karet dapat menghasilkan 1.600 biji atau 26 kg dalam setahun. Perkebunan karet dapat menghasilkan getahsebanyak 800-1200 kg per hektar dalam setahun (Anis et al., 2014).



**Gambar 2.2.** Cangkang dan buah Karet (<https://es.123rf.com/>)

Berikut adalah klasifikasi tanaman karet :

Kingdom	:Plantae
Divisio	:Spermatophyta

Sub Divisio	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Euphorbiales
SubFamili	: Mimosoidae
Genus	: <i>Hevea</i>
Species	: <i>Hevea brasiliensis</i> (Wild) Muell.

Cangkang buah karet bertekstur sangat keras dan tajam. Hal ini menandakan adanya senyawa aktif berupa selulosa dan lignin dalam cangkang karet. Selulosa dan lignin merupakan senyawa organik yang mengandung karbon rantai panjang. Kedua senyawa ini dapat dijadikan karbon melalui pirolisis (Ekebaf, Imanah, & Okieimen, 2017).

Tabel 2.1. Komposisi kimia cangkang buah karet (Ekebaf, et al., 2017).

Komponen Penyusun	Persentase (%)
Selulosa	60-80
Lignin	5-20
Air	20

Kalsinasi adalah penguraian suatu bahan atau molekul organik pada suhu tinggi dengan adanya udara atau dengan udara terbatas. Kalsinasi senyawa organik menjadi karbon perlu dilakukan pengamatan variasi waktu dan suhu terhadap luas permukaan, diameter pori, volume pori keseluruhan, serta karakterisasi sifat kimia. Borhan dan Kamil (2012) telah melakukan preparasi dan karakterisasi karbon aktif dari cangkang buah karet dengan ukuran 1 mm. Suhu optimum kalsinasi cangkang buah karet adalah 300°C, dengan luas permukaan

1288.52 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, total volume pori 0.81 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup>, dan diameter pori 2.49 nm. Aktifitas katalitik optimum karbon semakin baik seiring dengan semakin luasnya permukaan, pori ukuran meso 2-50 nm, dan volume pori yang besar (Borhan & Kamil, 2012).

Cangkang buah karet mengalami dekomposisi senyawa organik seiring dengan meningkatnya suhu pirolisis ataupun kalsinasi. Dekomposisi senyawa organik pada cangkang karet mendekati sempurna pada suhu >450°C yakni 77-100 % (Ekebafé, et al., 2010). Karbon dari cangkang buah karet mempunyai luas permukaan disekitar 429 m<sup>2</sup>//g dengan ukuran diameter pori mikro dan meso poros (Pagketanang, et al., 2015). Kalsinasi cangkang buah karet dibawah suhu 450°C dinamakan juga dengan pembakaran yang belum komplit yang masih menyisakan senyawa organik senyawa aromatis polisiklik. Hal ini dibuktikan dengan adanya pita serapan C=C, C=O, C-C, C=N dan C-H jika dilakukan karakterisasi dengan FTIR (Pagketanang et al., 2015, Lokman, 2016).

Karbon hasil kalsinasi cangkang biji sawit mengandung gugus asam karboksilat (-COOH) yang berasal dari gugus karbonil senyawa karbohidrat selulosa dan lignin. Selain itu, cangkang buah karet juga mengandung asam stearat sebanyak 4%. Asam stearat mempunyai titik didih 368°C. Gugus karboksilat asam stearat diindikasikan juga sebagai salah satu penyumbang gugus karboksilat pada karakterisasi karbon (Ekebafé et al., 2010).

### **2.3 Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit**

Biodiesel adalah sebuah energi baru dan terbarukan. Biodiesel dapat

menggantikan solar karena sifatnya yang hampir sama dengan solar. Biodiesel dapat dihasilkan dari reaksi transesterifikasi trigliserida atau minyak nabati dengan alcohol primer disertai dengan penambahan katalis. Alkohol yang digunakan adalah methanol. Methanol adalah jenis alkohol rantai terpendek dan alcohol yang paling polar sehingga reaktifitasnya sangat tinggi dan stabil (Thanh et al., 2012).

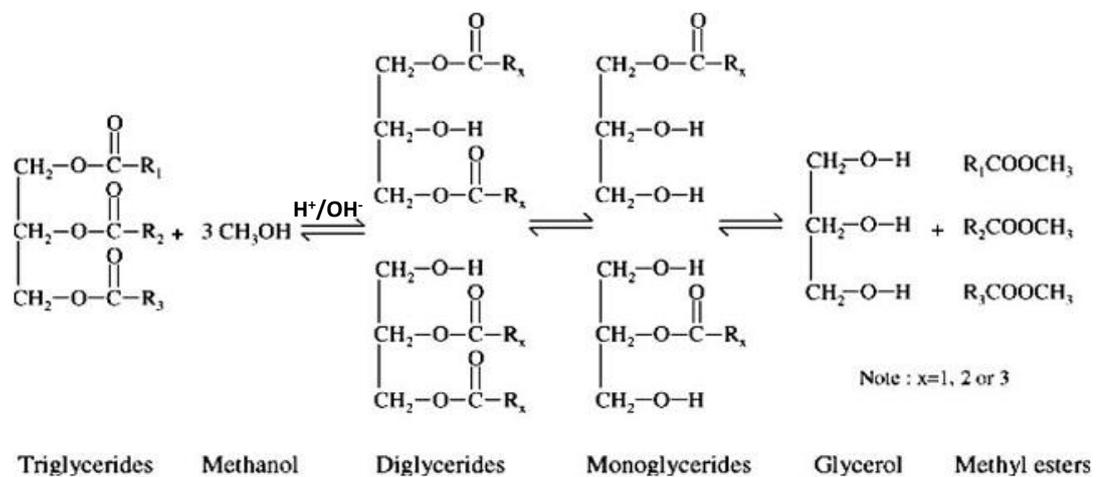
Minyak nabati khususnya minyak kelapa sawit memiliki karakteristik yang hampir sama dengan bahan bakar mesin diesel. Minyak kelapa sawit memiliki viskositas yang lebih tinggi yakni  $35-50 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$  (Thanh et al., 2012). Sehingga minyak kelapa sawit belum bisa digunakan secara langsung sebagai bahan bakar mesin diesel. Viskositas yang tinggi menyebabkan masalah pada injeksi atomisasi bahan bakar sehingga pembakaran bahan bakar menjadi tidak sempurna. Indeks viskositas adalah faktor utama kesesuaian bahan bakar dengan mesin diesel (Negm et al., 2017).

Biodiesel dari minyak kelapa sawit punya banyak keuntungan dibandingkan minyak petroleum diantaranya: pengolahan yang mudah, dapat diperbarui, efektif dalam proses pembakaran, tidak ada bau dan belerang, bilangan cetan tinggi, berkelanjutan, menambah pendapatan, mengurangi polusi dan ramah lingkungan. Hanya saja, untuk meningkatkan produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit perlu dilakukan studi mendalam mengenai katalisator yang digunakan (Negm et al., 2017).

Biodiesel minyak kelapa sawit dihasilkan dari transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol dengan adanya penambahan katalis sehingga menghasilkan senyawa baru yaitu Metil ester (Biodiesel) dan gliserol sebagai

produk samping (Hidayat et al., 2015). Biodiesel yang dihasilkan umumnya adalah berupa biosolar karena sifatnya yang sangat mirip dengan solar. Biodiesel yang dihasilkan mempunyai titik nyala 473-543 K dan titik didih 543-623 K (SNI 7182:2015).

Berikut mekanisme reaksi transesterifikasi :



**Gambar 2.3.** Reaksi transesterifikasi (Balat & Balat, 2010).

Reaksi transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel bertujuan untuk untuk menghilangkan kandungan trigliserida, menurunkan titik beku, titik nyala, titik didih, dan viskositas minyak sawit tersebut. hal ini dilakukan agar metil ester yang dihasilkan dari transesterifikasi minyak sawit dapat digunakan sebagai bahan bakar pada mesin disel tanpa merubah atau memodifikasi mesin tersebut (Thanh et al., 2012). Berikut adalah perbandingan kuantitas maksimum diesel dengan biodiesel :

**Tabel 2.2** Standar biodiesel Indonesia (SNI 7182:2015).

No	Parameter uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
1	Massa jenis pada 40 °C	kg/m <sup>3</sup>	850 – 890
2	Viskositas kinematik pada 40	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	2,3 – 6,0

	°C		
3	Angka setana	min	51
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C, min	100
5	Titik kabut	°C, maks	18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 °C)		nomor 1
7	Residu karbon - dalam percontoh asli; atau - dalam 10% ampas distilasi	%-massa, maks	0,05 0,3
8	Air dan sedimen	%-volume, maks	0,05
9	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02
11	Belerang	mg/kg, maks	50
12	Fosfor	mg/kg, maks	4
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02

Secara umum menurut Balat & Balat, (2010) karakteristik sifat fisika biodiesel minyak sawit adalah sebagai berikut:

#### 1) Viskositas

Viskositas merupakan tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi yang biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Viskositas yang terlalu tinggi akan membuat bahan bakar teratomisasi menjadi tetesan yang lebih besar sehingga akan mengakibatkan deposit pada mesin. Tetapi apabila viskositas terlalu rendah akan memproduksi spray yang terlalu halus sehingga terbentuk

daerah *rich zone* yang menyebabkan terjadinya pembentukan jelaga.

## 2) Titik nyala

Titik nyala (*Flash point*) adalah titik suhu terendah yang menyebabkan bahan bakar dapat menyala. Penentuan titik nyala ini berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan dan penanganan bahan bakar. Pada standar ASTM biodiesel nilai flash point min.  $100^{\circ}\text{C}$  karena untuk mengeliminasi kontaminasi methanol akibat proses konversi minyak nabati yang tidak sempurna

## 3) Densitas

Densitas merupakan 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  $860\text{ kg/m}^3$  dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna. Apabila Biodiesel memiliki massa jenis melebihi ketentuan akan menghasilkan reaksi pembakaran tidak sempurna.

## 4) Angka Setana

Angka setana (*cetane number*) adalah persentase volume setana dalam campurannya dengan alfa-methyl naphthalen ( $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{CH}_3$ ) yakni suatu senyawa hidrokarbon aromatis yang memiliki kelambatan penyalaan yang besar. Angka setana menunjukkan kemampuan bahan bakar menyala dengan sendirinya dalam ruang bakar motor diesel. Semakin tinggi angka setana, semakin cepat pembakaran semakin baik efisiensi termodinamisnya.

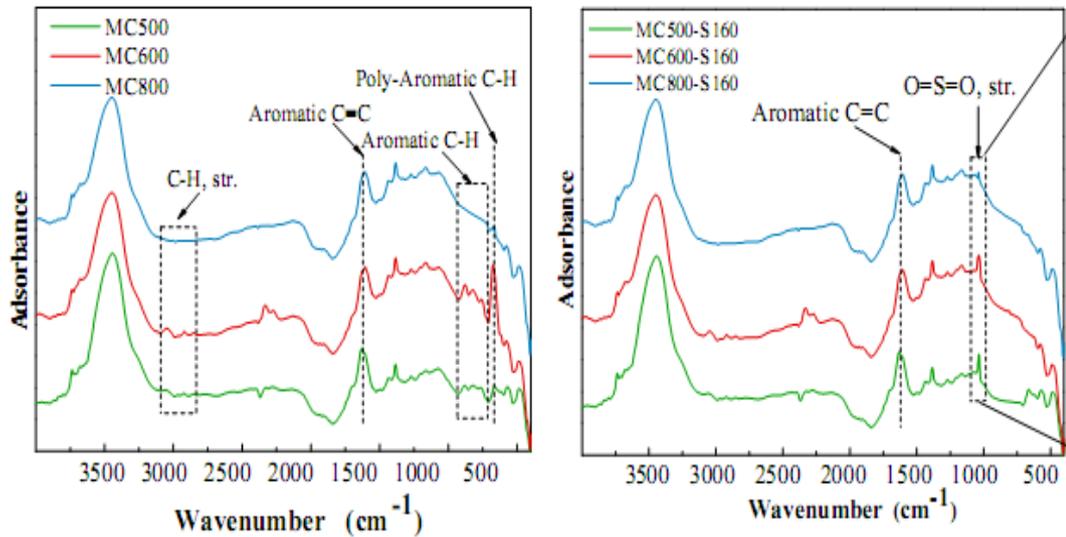
## 2.4 Karakterisasi Katalis Asam Padat

### 2.4.1 *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

*Fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR) adalah suatu teknik analisa kimia metode analisis gugus fungsi suatu sampel organik dan anorganik yang didasarkan pada vibrasi atom-atom dalam suatu molekul akibat dari serapan sinar inframerah (Stuart, 2004). Karakterisasi FTIR dapat digunakan untuk penentuan struktur molekul dari analisis gugus fungsi suatu senyawa. Sampel padatan, cairan ataupun gas dapat digunakan pada instrumen ini. Suatu molekul yang menunjukkan serapan infra merah harus terjadi pertukaran momen dipole selama vibrasi (Stuart, 2004).

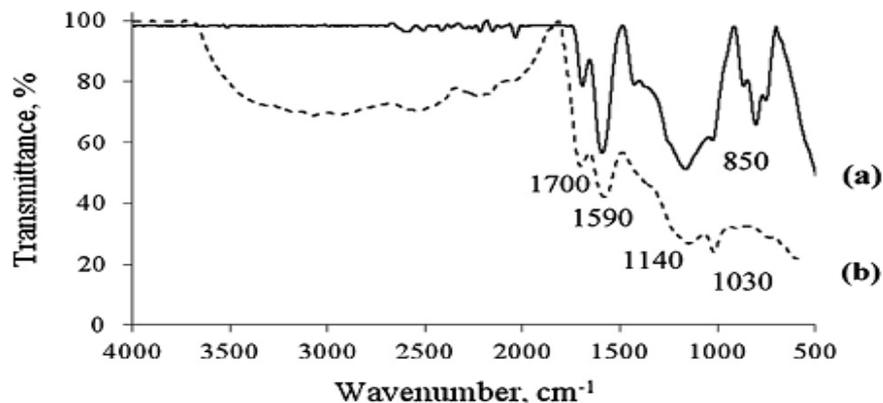
Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi *Fourier* untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Inti spektroskopi FTIR adalah interferometer Michelson yaitu alat untuk menganalisis frekuensi dalam sinyal gabungan. Secara umum, spektrum infra merah didapatkan dari radiasi sinar infra merah yang melewati suatu sampel dan jenis gugus dapat ditentukan dari radiasi yang diserap pada tingkat energi tertentu (Stuart, 2004).

Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari penstransmian cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang ( $\mu\text{m}$ ) atau bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ) (Anam, *et al.*, 2007). Analisa spektrum FTIR ditunjukkan pada gambar 2.4 di bawah ini.



**Gambar 2.4.** Analisa gugus fungsi FTIR terhadap katalis asam padat dari pati (Zhang et al., 2015).

Spektra IR dari karbon hasil pirolisis sebelum sulfonasi dan setelah sulfonasi ditunjukkan pada gambar 2.5 di bawah ini.



**Gambar 2.5.** Spektra IR dari (a) karbon hasil pirolisis (b) karbon hasil pirolisis tersulfonasi.

Berdasarkan gambar di atas, serapan kuat muncul di area  $1700\text{ cm}^{-1}$  dan  $159\text{ cm}^{-1}$  untuk masing-masing karbon sebelum dan sesudah sulfonasi. Puncak-puncak tersebut adalah daerah serapan gugus karbonil  $\text{C}=\text{O}$  dan aromatic  $\text{C}=\text{C}$  dari struktur karbon. Gugus katalis  $\text{CSO}_3$  untuk karbon tersulfonasi muncul pada daerah serapan  $1030\text{ cm}^{-1}$  untuk gugus  $\text{S}=\text{O}$  dan  $1140\text{ cm}^{-1}$  untuk gugus  $\text{C}-\text{O}$

(Lokman et al., 2016). Pita serapan kuat pada daerah sekitar  $1154\text{ cm}^{-1}$  dan  $1035\text{ cm}^{-1}$  secara berturut-turut merupakan vibrasi ulur asimetris dari  $\text{O}=\text{S}=\text{O}$  ( $\text{SO}_2$ ) dan vibrasi ulur simetris  $\text{O}=\text{S}=\text{O}$  ( $\text{SO}_2$ ) yang menyatakan adanya gugus  $-\text{SO}_3\text{H}$  pada karbon hasil sulfonasi yang membentuk ikatan kovalen dengan struktur karbon aromatis polisiklik (Lokman, et al., 2014).

#### **2.4.2 X-Ray Diffraction (XRD)**

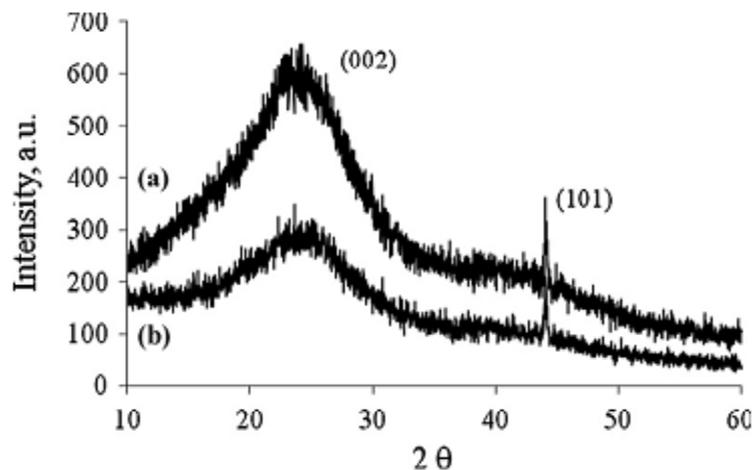
Difraksi sinar-X (XRD) merupakan teknik nondestruktif yang digunakan untuk mengkarakterisasi suatu material. Difraksi sinar-X memberikan informasi mengenai struktur, fase, orientasi kristal (tekstur), dan parameter struktural lainnya, seperti ukuran butiran rata-rata, kristalinitas, regangan, dan defek Kristal. Difraktometer sinar-X terdiri atas tiga elemen dasar yaitu tabung sinar-X, sample holder dan detektor sinar-X (Taylor, et al., 2015) .

Prinsip kerja XRD (X-Ray Diffraction) adalah sinar-X polikromatis dipancarkan dari tabung katoda (sumber sinar x) pada sudut tertentu menuju monokromator untuk memproduksi sinar x monokromatis. Sinar monokromatis berupa electron-elektron yang bergerak cepat diarahkan tepat kearah sampel sasaran. Sampel yang berinteraksi dengan sinar x akan terionisasi dimana sebagian elektron akan tereksitasi ke tingkat orbital yang lebih redah. Perpindahan electron ini menghasilkan sejumlah energi tertentu. Ketika sampel mengalami kontak dengan sinar x, sebagian berkas sinar akan ditransmisikan (diteruskan), diabsorpsi (diserap) dan sebagian lain akan dihamburkan (difraksi). Berkas sinar

yang dihamburkan ini akan ditangkap oleh detector dan diolah menjadi data (Das, et al., 2014).

Saat ini, XRD telah menjadi teknik yang umum dipelajari untuk penentuan struktur kristal dan jarak atom. *X-ray diffraction* dapat digunakan untuk identifikasi material-material kristalin yang tidak diketahui. Difraktometer sinar x terdiri dari 3 elemen utama yakni tabung sinar x, tempat sampel dan detector sinar x.

XRD telah digunakan pada berbagai bidang diantaranya : industry farmasi, geologi, kedokteran, industry kaca, industry mikroelektronik, analisis korosi dan sebagainya (Taylor et al., 2015). Pola XRD dari karbon sebelum sulfonasi dan setelah sulfonasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



**Gambar 2.6.** Pola XRD dari (a) karbon, (b) sulfonasi karbon (Lokman et al., 2016).

Gambar 2.5 menunjukkan pola XRD dari sampel karbon hasil pirolisis sebelum (a) dan sesudah sulfonasi (b). Pada masing-masing sampel terdapat puncak yang melebar pada  $2\theta = 10-30^\circ$  dan puncak difraksi lemah pada  $2\theta = 35-50^\circ$  yang secara berturut-turut merupakan difraksi grafit (002) dan bidang (101)

dimana diindikasikan bahwa sampel merupakan amorf (Lokman et al., 2016).. Masing-masing puncak tersebut mengindikasikan adanya lembaran-lembaran karbon aromatik polisiklik yang tersusun secara acak pada sampel yang di uji katalis dan karbon (Lokman, et al., 2015). Lembaran karbon aromatis polisiklik berasal dari dekomposisi senyawa organik seperti selulosa dan lignin (Guo, Xiu, & Liang, 2012).

### **2.4.3 X-Ray Fluorescence (XRF)**

XRF (*X-Ray Fluorescence*) merupakan salah satu instrumen kimia yang digunakan untuk analisa kualitatif dan kuantitatif komposisi suatu elemen tanpa merusak sampel itu sendiri. Sampel yang digunakan pada XRF ini dapat berupa serbuk dan cairan. Secara umum, prinsip XRF spektrometer ini adalah pengukuran gelombang yang terpancar (emisi) dari permukaan sampel pada saat diradiasi oleh sinar X (Kriswarini et al., 2010). Fluoresensi sinar-x merupakan pancaran dari sinar-x primer yang berasal dari tabung sinar-x dengan tegangan listrik 1200 volt. Elektron dari bahan akan tereksitasi dari tingkat energi tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah saat sinar-x primer mengenai materi sambil memancarkan sinar sekunder. Sinar atau gelombang sekunder ini ditangkap detektor dan dikirim ke monitor (Jamaludin & Adiantoro, 1979).

XRF dapat mengukur persen komposisi sulfonat pada sampel katalis asam padat. Selain itu, densitas dari fraksi sulfonat juga dapat di ukur menggunakan XRF. Penelitian yang dilaporkan oleh Hidayat et al., (2015) bahwa jumlah fraksi sulfat yang terkandung pada katalis asam padat dari cangkang kelapa adalah 87.33%. Sedangkan menurut Lokman et al, (2016), densitas sulfonat pada katalis

asam padat pati tersulfonasi adalah  $6.97 \text{ mmol g}^{-1}$  dari total  $12.54 \text{ mmol g}^{-1}$ , atau setara dengan 55.58%. Jumlah fraksi ion sulfonat pada sampel katalis asam menentukan aktivitas katalitik katalis. Metil ester (biodiesel) yang dihasilkan pada reaksi transesterifikasi semakin meningkat seiring dengan tingginya fraksi sulfonat pada katalis asam padat (Lokman et al., 2015).

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

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

1. Katalis asam padat berbasis karbon tersulfonasi dari cangkang buah karet (SCRS) dapat disintesis dengan variasi suhu kalsinasi 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan 450°C dan sulfonasi karbon hasil kalsinasi pada suhu 160°C selama 12 jam.
2. Suhu optimum kalsinasi diperoleh pada variasi 350°C yang dibuktikan dengan tingginya persen sulfat pada analisis XRF yakni 93.70%.
3. Katalis asam padat SCRS dapat digunakan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit.
4. Penurunan densitas, titik didih serta viskositas dari biodiesel yang dihasilkan seiring dengan peningkatan fraksi sulfat pada katalis.

#### 5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Melakukan uji pemakaian berulang (*recycle*) katalis asam padat SCRS terhadap reaksi transesterifikasi.
2. Melakukan uji aktivitas katalis SCRS dengan beberapa sumber minyak yang berbeda.

## KEPUSTAKAAN

- Acid, C. S. S. (2007). Environmentally Benign Production of Chemicals and Energy Using a Carbon-Based Strong Solid Acid, *3734*.
- Anis, D., Zaidi, a G., Khudzir, I., Iqbalidin, M. N., Osman, U. M., & Nawawi, W. I. (2014). Production of Rubber Seed Pericarp Based Activated Carbon Using Microwave-Induced Different Chemical Activating Agent. *International Journal of Scientific and Research Publications*, *4*(7), 1–8.
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. R. A., & Sulaiman, N. M. N. (2013). Journal of Industrial and Engineering Chemistry The effects of catalysts in biodiesel production : A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *19*(1), 14–26.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2015). Biodiesel. Jakarta. SNI : 7182 : 2015.
- Balat, M., & Balat, H. (2010). Progress in biodiesel processing. *Applied Energy*, *87*(6), 1815–1835.
- Borhan, A., & Kamil, A. F. (2012). Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rubber-seed Shell by Chemical Activation. *Journal of Applied Science*, *12*(11), 1124–1129.
- Cheng, J., Qiu, Y., Huang, R., Yang, W., Zhou, J., & Cen, K. (2016). Biodiesel production from wet microalgae by using graphene oxide as solid acid catalyst. *Bioresource Technology*, *221*, 344–349.
- Das, R., Ali, E., Bee, S., & Hamid, A. (n.d.). Current applications of x-ray powder.
- Ekebafé, L. O., Imanah, J. E., & Okieimen, F. E. (2010). Physico-mechanical properties of rubber seed shell carbon – filled, *16*(2), 149–156.
- Ekebafé, L. O., Imanah, J. E., & Okieimen, F. E. (2017). Effect of carbonization on the processing characteristics of rubber seed shell. *Arabian Journal of Chemistry*, *10*, S174–S178.
- Guo, F., Xiu, Z., & Liang, Z. (2012). Synthesis of biodiesel from acidified soybean soapstock using a lignin-derived carbonaceous catalyst. *Applied Energy*, *98*, 47–52.
- Hatefi, H., Mohsennia, M., & Niknafs, H. (2014). Transesterification of Corn Oil Using MgO and ZnO as Catalysts. *International Conference on Chemistry, Biomedical and Environment Engineering*, 37–41.