

**PENGOLAHAN MINYAK KELAPA SAWIT *LIQUID FUEL* DENGAN  
METODE PIROLISIS MENGGUNAKAN ZEOLIT SINTETIK BERBASIS  
SILIKA SEKAM PADI SEBAGAI KATALIS**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Antonius Wendi Antono**



**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2018**

## ABSTRAK

### PENGOLAHAN MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI LIQUID FUEL DENGAN METODE PIROLISIS MENGGUNAKAN ZEOLIT SINTETIK BERBASIS SILIKA SEKAM PADI SEBAGAI KATALIS

Oleh

ANTONIUS WENDI ANTONO

Pada penelitian ini, sintesis zeolit dari silika sekam padi dengan logam aluminium dilakukan dengan metode elektrokimia dengan variasi potensial 6, 8, dan 10 Volt dan waktu elektrolisis 1, 2, dan 3 jam. Zeolit kemudian dikalsinasi pada suhu 600-900 ° C, kemudian diuji pirolis dengan minyak kelapa sawit untuk menghasilkan *liquid fuel*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *liquid fuel* dengan kandungan hidrokarbon tertinggi sebesar 89,22% diperoleh dengan menggunakan katalis yang dibuat dengan menggunakan potensial 6 Volt dan waktu elektrolisis 3 jam (Zeo<sub>6. 3</sub>) yang dikalsinasi pada suhu 900 °C. Analisis katalis dengan menggunakan XRD menunjukkan zeolit terdiri dari fase amorf, analisis dengan SEM menunjukkan bahwa katalis memiliki morfologi permukaan yang heterogen dalam bentuk, ukuran, dan distribusi partikel pada permukaan, dan analisis PSA menunjukkan bahwa rentang ukuran partikel dari 194,2-786,9 µm . Identifikasi situs asam dilakukan dengan spektrometri *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), yang menunjukkan adanya situs asam Brønsted-Lowry oleh pita serapan pada bilangan gelombang 1634 dan 1637 cm<sup>-1</sup>.

Kata kunci : silika sekam padi, metode elektrokimia, zeolit sintetik, *liquid fuel*, pirolisis.

## ABSTRACT

### PROCESSING OF THE PALM OIL BETHE LIQUID FUEL BY PYROLYSIS METHOD USING SYNTHETIC ZEOLITE BASED ON RICE HUSK SILICA AS CATALYST

By

ANTONIUS WENDI ANTONO

In this research, the synthesis of zeolite from rice husk silica with aluminium metal was conducted by electrochemical method with potential variations of 6, 8, and 10 Volt and electrolysis times of 1, 2, and 3 hours. The zeolites were then calcined at 600 -900 °C, and then tested in pyrolysis of palm oil to produce liquid fuel. The results show that liquid fuel with the highest hydrocarbon content of 89.22% was obtained using the catalyst prepared using the potential of 6 Volt and the electrolysis time 3 hours (Zeo<sub>6.3</sub>) which calcined at 900 °C. Analysis of catalyst using XRD shows zeolite consist of amorphous phase, analysis using SEM shows that catalyst has the surface morphology which heterogeneous in shape, size, and distribution of the particles on surface, and analysis PSA shows the particle size ranging from 194.2-786.9 μm. Identification of the acid sites was conducted with Fourier transform infrared (FTIR) spectrometry, revealing the existence of Brønsted–Lowry acid site, indicated by the absorption bands at the wavenumbers of 1634 and 1637 cm<sup>-1</sup>.

**Keywords:** rice husk silica, electrochemical method, synthetic zeolite, liquid fuel, *pyrolysis*.

**PENGOLAHAN MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI  
*LIQUID FUEL* DENGAN PROSES PIROLISIS  
MENGUNAKAN ZEOLIT SINTETIK BERBASIS SILIKA  
SEKAM PADI SEBAGAI KATALIS**

**Oleh**

**Antonius Wendi Antono**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

Judul Skripsi : **PENGOLAHAN MINYAK KELAPA SAWIT  
MENJADI *LIQUID FUEL* DENGAN PROSES  
PIROLISIS MENGGUNAKAN ZEOLIT  
SINTETIK BERBASIS SILIKA SEKAM PADI  
SEBAGAI KATALIS**

Nama Mahasiswa : **Antonius Wendi Antono**

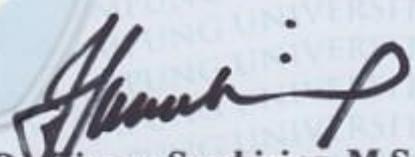
No. Pokok Mahasiswa : 1317011004

Jurusan : Kimia

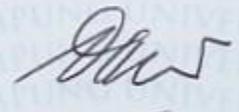
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



  
**Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.**  
NIP 19590706 198811 1 001

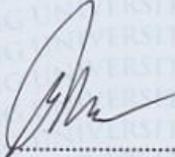
  
**Dr. Lipora Sembiring, M.S.**  
NIP 19590106 198603 2 001

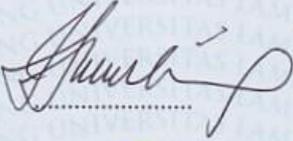
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

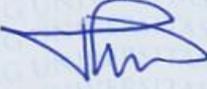
  
**Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T.**  
NIP 19740705 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

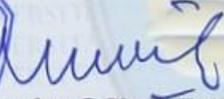
Ketua : Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. 

Sekretaris : Dr. Zipora Sembiring, M.S. 

Penguji  
Bukan Pembimbing : Prof. Sutopo Hadi, M.Sc., Ph.D. 

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



  
Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D.  
NIP. 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 04 Januari 2018

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Antonius Wendi Antono, lahir di Pringsewu pada tanggal 12 Mei 1995 merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis lahir dari pasangan suami istri Bapak Gregorius Sumedi dan Ibu Barbara Heri Suratiningsih. Penulis sekarang bertempat tinggal di Desa Waringinsari Timur, Kecamatan Sukoharjo, Pringsewu.

Penulis menyelesaikan pendidikan dari SD Negeri 1 Waringinsari Timur lulus pada tahun 2007, SMP Santo Thomas Totokarto lulus pada tahun 2010, SMA Negeri 1 Sukoharjo lulus pada tahun 2013 dan tahun 2013 penulis melanjutkan ke pendidikan tinggi di Jurusan S1 Kimia FMIPA Universitas Lampung.

Selain belajar di bangku kuliah penulis juga aktif berorganisasi. Organisasi yang pernah ikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Universitas Lampung sebagai Kader Muda Himaki tahun 2013 – 2014, anggota Bidang Sosial Masyarakat tahun 2014 – 2015 dan 2015 – 2016. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Kimia Fisik tahun 2016 untuk mahasiswa Kimia, praktikum Kimia Dasar tahun 2016 untuk mahasiswa Peternakan, dan praktikum Kimia Dasar pada tahun 2017 untuk mahasiswa Agribisnis.

*Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawab kepada :*

*Kedua orang tuaku,  
Bapak Gregorius Sumedi dan Ibu Barbara Heri  
Suratiningsih yang telah memberikan cinta kasih,  
dukungan, motivasi, dan doa untukku.*

*Kakak - kakakku  
Stanislaus Dimas Indra Pratika dan Leonardus Andri Dwi  
Setiawan*

*Pembimbing Penelitianku, Bapak Prof. Wasinton  
Simanjuntak, Ph.D.*

*Orang terkasih, Sahabat, Kerabat, dan Teman.*

*Almamater Tercinta*

## MOTTO

“Tiada sukses diraih tanpa keterlibatan orang lain. Pandai membawa diri disetiap pergaulan adalah ilmu hidup yang mutlak dimiliki oleh setiap orang yang ingin sukses”  
(Andrie Wongso)

“Jangan mengatakan TIDAK MAMPU sebelum anda berusaha menjadikan diri anda mampu !!!”

“Bertikirlah positif karena pikiran positif akan menghasilkan hal-hal yang positif. Always be positive ☺”

“Cukup lakukan yang terbaik pada masa ini dan jangan mengawatirkan masa depan dan jangan terlarut dalam kehidupan masa lampau, hiduplah seperti air yang mengalir dan selalu bisa menempati bentuk seperti apapun keadannya”  
(Antonius Wendi Antono)

## SANWACANA

Segala hormat, puji dan syukur kepada Tuhan Yesus sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul:

**Pengolahan Minyak Kelapa Sawit Menjadi *Liquid Fuel* Dengan Metode Pirolisis Menggunakan Zeolit Sintetik Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis.**

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia FMIPA Unila. Dalam pengerjaan penelitian dan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai hambatan dan kesulitan, namun atas bantuan berbagai pihak skripsi ini dapat terselesaikan. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang dan dua kakak penulis yang selalu memberi cinta kasih, motivasi, dukungan, dan doa untuk penulis.
2. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku Pembimbing Pertama penelitian atas doa, bimbingan, dukungan, motivasi, bantuan, nasihat, saran, dan seluruh kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

3. Dr. Zipora Sembiring, M.S selaku Pembimbing Kedua penelitian atas bimbingan, motivasi, bantuan, nasihat, saran, dan seluruh kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Sutopo Hadi, M.Sc, Ph.D. selaku Pembahas penelitian atas segala saran, kritik, motivasi, dan inspirasi yang sangat membangun dalam penulisan skripsi ini.
5. Ibu Rinawati, Ph.D selaku pembimbing akademik atas saran, kritik, bimbingan, dukungan, kesabaran dan bantuan yang telah diberikan selama penulis melakukan perkuliahan.
5. Bapak Dr. Eng Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D. selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Segenap staf pengajar dan karyawan khususnya Jurusan Kimia dan FMIPA Universitas Lampung pada umumnya.
8. *Partner* penelitian penulis: Yudha Ari Satria, Hernora Adis Parlina, Gesa Gustami P, Yunitri Sianturi, Hermayana Simamora, and Veronika Netty Manalu yang selalu membantu, menasehati dan memberikan motivasi kepada penulis.
9. Rekan – rekan di Laboratorium Polimer, Kimia Fisik Universitas Lampung: Mba Gege, Kak Hanif, Mba Dilla, Kak Yusry, Mba Dum Dum, Mba Rulli, Mba Fenti, Mba Debo, Kak, Ferdi atas semangat, saran dan bantuan yang diberikan. Terimakasih atas kebersamaan yang dilalui selama ini.

10. Keluarga kimia 2013 yang berjumlah 91 orang yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas kebersamaan dalam melalui hari demi hari dalam kehidupan kampus yang sulit dan keras untuk dilalui sendiri.
11. Teman – teman 5000an Dian, Indah, Yulia, Siti, Aulia, Paul, Dicky, Bara, Anggi, Yuni, Dona, Eka, Fatimah, Ismi, Nurma, Gita, Selly, Megafit, Ezra, Della, Maya, Khomsatun, Widya, Carmel, Renita, Linda, Mawar, Nabila dan Kartika yang telah memberikan penghiburan disaat penulis sedang kesusahan dan kesedihan.
12. Teman – teman OMK Totokarto Dila, Lita, Sekar, Bety, Galih, Frendo, Rian, Niko, Nicodemus, Rinto, Gerson, Juventius, Bagas, Bagus, Nia, Lana, Cindy, Widya, Diki, Santi, Mima, Sandi, dan Agung yang selalu memberikan semangat dan motivasi disaat penulis sedang pada kondisi jenuh diperkuliahan.
13. Himaki FMIPA Unila yang telah memberikan pengalaman yang luar biasa kepada penulis.
14. Teman – teman KKN desa Rama Gunawa 2016 Dio, Ical, Nindy, Niken, Gadis dan Dian atas pengalaman berharga yang telah diberikan.
15. Kakak dan adik tingkat penulis, kimia angkatan 2010, 2011, 2012, 2014, dan 2015.
16. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis berharap semoga Tuhan Yesus Kristus membalas segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Amiin. Penulis menyadari bahwa

skripsi ini masih terdapat kekurangan, namun penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi rekan-rekan khususnya mahasiswa kimia dan pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, Januari 2018

Antonius Wendi Antono

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	4
C. Manfaat Penelitian .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Bahan Bakar Cair Terbarukan .....	6
B. Pirolisis .....	8
C. Zeolit .....	12
1. Pengertian Zeolit .....	12
2. Zeolit Sintetik.....	13
D. Minyak Kelapa Sawit .....	16
E. Silika Sekam Padi .....	17
F. Pembuatan Zeolit dengan Metode Elektrokimia.....	19
1. Elektrolisis .....	19
2. Reaksi Pada Elektroda.....	20
G. Karakterisasi Zeolit .....	20
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	20
2. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	23
3. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) .....	25
4. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	26
5. <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR) .....	27
H. Karakterisasi <i>Liquid Fuel</i> .....	29
1. Analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS) .....	29
2. Karakteristik Fisik .....	30
a. Densitas .....	30
b. Viskositas .....	31
c. Titik Nyala ( <i>Flash Point</i> ) .....	31

### III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	32
B. Alat dan Bahan .....	33
1. Alat – Alat yang Digunakan.....	33
2. Bahan – Bahan yang Digunakan .....	33
C. Prosedur Penelitian .....	33
1. Pembuatan Larutan HNO <sub>3</sub> 10% .....	33
2. Pembuatan Larutan NaOH 1,5%.....	34
3. Preparasi Sekam Padi .....	34
4. Ekstraksi Silika Sekam Padi .....	34
5. Pembuatan Sol Silika Sekam Padi .....	35
6. Pembuatan Katalis Zeolit dengan Metode Elektrokimia.....	35
7. Kalsinasi Katalis .....	36
8. Karakterisasi Zeolit .....	36
a. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	36
b. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	37
c. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	38
d. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) .....	49
e. <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR) .....	39
9. Uji Reaksi Perengkahan .....	40
10. Karakterisasi <i>Liquid Fuel</i> .....	40
a. <i>Flash Point Liquid Fuel</i> .....	41
b. <i>Viskositas Liquid Fuel</i> .....	42
c. <i>Densitas Liquid Fuel</i> .....	43
d. <i>Gas-Cromatography – Mass Spectroscopy</i> (GC-MS).....	44

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Ekstraksi silika dari sekam padi .....	46
B. Preparasi zeolit sintetik .....	47
C. Uji aktivitas katalitik zeolit sintetik.....	49
D. Analisis hasil produk pirolisis .....	51
E. Karakterisasi zeolit sintetik.....	67
1. Karakterisasi dengan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) .....	67
2. Karakterisasi dengan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	68
3. Karakterisasi dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	71
4. Karakterisasi dengan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) .....	73
5. Karakterisasi dengan <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR) .....	75

### V. SIMPILAN DAN SARAN

A. Simpulan .....	80
B. Saran .....	81

<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>82</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>89</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Contoh Zeolit Alam .....	13
2. Rumus Oksida Beberapa Jenis Zeolit Sintetik .....	14
3. Massa zeolit hasil elektrolisis dengan pH tetap (pH = 7).....	48
4. Perhitungan persen konversi <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis .....	52
5. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak kelapa sawit dengan tanpa katalis .....	53
6. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak kelapa sawit dengan katalis Zeo <sub>6:1</sub> 600 °C.....	55
7. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak kelapa sawit dengan katalis Zeo <sub>6:2</sub> 600 °C.....	56
8. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak kelapa sawit dengan katalis Zeo <sub>6:3</sub> 600 °C.....	58
9. Rangkuman komposisi komponen penyusun <i>liquid fuel</i> .....	59
10. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak kelapa sawit dengan katalis Zeo <sub>6:3</sub> 700 °C.....	61
11. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak kelapa sawit dengan katalis Zeo <sub>6:3</sub> 800 °C.....	62
12. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak kelapa sawit dengan katalis Zeo <sub>6:3</sub> 900 °C.....	63
13. Komposisi komponen penyusun <i>liquid fuel</i> yang dihasilkan menggunakan katalis zeolit yang dikalsinasi pada suhu yang berbeda .....	64
14. Densitas, viskositas, titik nyala dan persen konversi dari <i>liquid fuel</i> yang dihasilkan menggunakan Zeo <sub>6:3</sub> dengan variasi suhu kalsinasi.....	66
15. Hasil analisis zeolit sintetik menggunakan XRF .....	67

16. Distribusi ukuran partikel $\text{ZeO}_{6:3}$ yang dikalsinasi pada suhu berbeda .....	74
17. Keasaman katalis $\text{ZeO}_{6:3}$ .....	76

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur kimia zeolit .....	12
2. Tanaman kelapa sawit.....	17
3. Pola difraksi sinar-X oleh padatan.....	21
4. Skema alat <i>Scanning Electron Microscope</i> .....	24
5. Skema Alat PSA .....	25
6. Reaktor elektrokimia.....	35
7. Reaktor pirolisis.....	40
8. Proses ekstraksi silika dari sekam padi menggunakan NaOH 1,5 %.....	47
9. Sintesis zeolit dengan metode elektrokimia .....	49
10. Kalsinasi Zeolit.....	50
11. Uji reaksi pirolisis.....	51
12. Kromatogram <i>liquid fuel</i> tanpa menggunakan katalis .....	53
13. Kromatogram <i>liquid fuel</i> menggunakan Zeo <sub>6,1</sub> 600 °C.....	54
14. Kromatogram <i>liquid fuel</i> menggunakan Zeo <sub>6,2</sub> 600 °C.....	56
15. Kromatogram <i>liquid fuel</i> menggunakan Zeo <sub>6,3</sub> 600 °C.....	57
16. Presentase komponen – komponen yang terkandung didalam <i>liquid fuel</i> menggunakan zeolit sintetik yang dikalsinasi pada suhu 600 °C .....	59
17. Kromatogram <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis menggunakan Zeo <sub>6,3</sub> 700 °C .....	60
18. Kromatogram <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis menggunakan Zeo <sub>6,3</sub> 800 °C .....	62
19. Kromatogram <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis menggunakan Zeo <sub>6,3</sub> 900 °C .....	63
20. Presentase komponen – komponen yang terkandung didalam <i>liquid fuel</i> menggunakan zeolit sintetik yang dikalsinasi pada suhu berbeda.....	65
21. Mikrogram katalis Zeo <sub>6,3</sub> .....	70
22. Difraktogram katalis Zeo <sub>6,3</sub> .....	72

23. Hasil pengukuran PSA katalis Zeo <sub>6:3</sub> .....	74
24. Spektrum FTIR zeolit sintetik tanpa menyerap piridin.....	77
25. Spektrum FTIR zeolit sintetik yang menyerap piridin.....	78

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Bahan bakar memiliki peranan penting dalam menunjang kegiatan manusia yang memerlukan energi, antara lain transportasi dan kegiatan industri. Sebagian besar bahan bakar yang kita gunakan sekarang merupakan bahan bakar fosil yang ketersediannya semakin berkurang di alam, hal ini menjadi salah satu masalah yang menarik perhatian. Berkurangnya ketersediaan bahan bakar fosil diakibatkan karena kebutuhan akan energi yang terus meningkat dan bertambahnya populasi serta pertumbuhan industri yang pesat. Untuk menanggulangi masalah tersebut, pengembangan energi terbarukan khususnya bahan bakar cair mutlak diperlukan. Dalam konteks pengembangan energi terbarukan, biomassa dianggap sebagai bahan baku ideal karena didukung oleh ketersediaan yang tak terbatas dan teknologi yang ada memungkinkan konversi biomassa menjadi bahan bakar cair.

Bahan bakar cair terbarukan merupakan nama umum untuk bahan bakar cair non-fosil yang dapat dihasilkan dari berbagai bahan baku, terutama biomassa dengan proses biologis, kimia, dan termokimia. Bahan bakar cair terbarukan yang sudah dikenal dan terus dikembangkan adalah bioetanol, biodiesel, dan bahan bakar cair hasil perengkahan (pirolisis) biomassa. Bahan bakar cair hasil pirolisis biomassa

disebut juga sebagai *liquid fuel* atau *bio-fuel*, untuk membedakannya dari bioetanol dan biodiesel. Bioetanol dihasilkan dari proses fermentasi dan membutuhkan bahan baku spesifik berupa gula reduksi (Visiamah, 2016), biodiesel dihasilkan dari proses transesterifikasi minyak nabati dengan alkohol sederhana sedangkan *liquid fuel* dihasilkan dari proses perengkahan senyawa organik besar/biomassa. Dibanding dengan bioetanol dan biodiesel, bahan bakar cair hasil pirolisis memiliki kelebihan karena tidak memerlukan bahan baku yang spesifik sehingga dapat digunakan untuk semua biomassa serta prosesnya berlangsung sangat cepat. Dengan demikian, bahan bakar cair hasil pirolisis sangat menguntungkan dan potensial untuk dikembangkan.

Salah satu bahan baku yang potensial untuk pembuatan bahan bakar cair dengan metode pirolisis di Indonesia adalah minyak kelapa sawit karena ditopang oleh keberadaan perkebunan kelapa sawit diberbagai daerah termasuk Provinsi Lampung (Anshari dkk, 2012). Di Provinsi Lampung, luas perkebunan kelapa sawit mencapai 172.363 Ha dengan total produksi minyak kelapa sawit 471.832 ton (Kementrian Pertanian, 2014).

Pirolisis merupakan proses perubahan molekul besar menjadi molekul sederhana pada suhu tinggi dengan tanpa adanya oksigen atau dalam kondisi oksigen yang terbatas (Mustofa *et al*, 2013). Dalam prakteknya, pirolisis dilakukan dengan bantuan katalis untuk menurunkan suhu pirolisis dan mengarahkan reaksi kearah produk agar hasil yang diperoleh maksimal. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit yang disintesis dari silika sekam padi sebagai sumber

silika dan logam aluminium sebagai sumber alumina menggunakan metode elektrokimia.

Menurut Badan Pusat Statistik (2015), Provinsi Lampung memiliki sawah seluas 660.560 hektar yang menghasilkan padi sebanyak 3,49 juta ton per tahun. Dalam penelitian sebelumnya (Simanjuntak *et al.*, 2016) melakukan penelitian kandungan silika dalam sekam padi dengan hasil 18 – 20%, sehingga silika sekam padi yang dihasilkan sebanyak 630 ribu ton sampai 700 ribu ton per tahun. Potensi limbah yang besar ini hanya sedikit yang baru dioptimalkan. Secara tradisional, sekam padi biasanya hanya digunakan sebagai bahan bakar konvensional (Danartoet *al.*, 2010). Saat ini pemanfaatan sekam padi tidak hanya terbatas pada hal itu saja akan tetapi dapat dimanfaatkan sebagai sumber penghasil silika sebagai pembuatan katalis. Sekitar 20 % sekam padi akan diperoleh dari padi yang digiling, dengan kandungan silikanya sebesar 85 – 97 % (Harsono, 2002). Kandungan silika yang tinggi ini memberikan peluang pemanfaatan sebagai sumber silika menggantikan silika lain yang lebih mahal. Silika diketahui dapat dengan mudah terlarut dalam larutan alkali sehingga dapat diperoleh melalui ekstraksi menggunakan larutan alkalis seperti NaOH dan KOH (Kalaphanthy *et al.*, 2000; Suka dkk., 2008; Daifullahet *al.*, 2003; Pandiangan dkk., 2009).

Dalam penelitian ini zeolit dibuat dengan metode elektrokimia. Metode ini digunakan karena silika memiliki kelarutan yang tinggi dalam larutan alkali seperti NaOH membentuk sol dimana logam aluminium sebagai logam aktif akan teroksidasi secara elektrokimia menghasilkan ion  $Al^{3+}$  yang akan terlarut dalam

sol silika. Selain itu, metode elektrokimia memiliki banyak keunggulan, diantaranya dapat dilangsungkan pada suhu rendah, menggunakan peralatan sederhana, dan biaya rendah (Swaddle, 2001).

Karakteristik dasar dari proses elektrokimia adalah reaksi yang berlangsung dipengaruhi oleh sejumlah variabel elektrokimia, antara lain potensial, pH, dan waktu reaksi. Dimana dalam penelitian ini potensial yang digunakan, yaitu 6, 8, dan 10 Volt dengan waktu elektrolisis selama 1, 2, dan 3 jam. Zeolit yang diperoleh dari elektrolisis di kalsinasi pada suhu 600, 700, 800 dan 900 °C untuk mempelajari pengaruh suhu dan aktivitas katalitik zeolit. Dengan demikian diharapkan zeolit dapat menjadi katalisator yang baik untuk pirolisis minyak kelapa sawit menjadi *liquid fuel*.

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan zeolit sintetis dengan nisbah Si/Al yang berbeda menggunakan metode elektrokimia.
2. Menguji aktivitas zeolit sebagai katalis untuk proses pirolisis minyak kelapa sawit sehingga didapatkan katalis dengan unjuk kerja terbaik.
3. Mengkarakterisasi zeolit sintetis yang mempunyai unjuk kerja terbaik dengan SEM-EDX, PSA, dan XRD untuk menunjukkan keterkaitan antara karakteristik dengan unjuk kerja sebagai katalis proses pirolisis.
4. Mengkarakterisasi *liquid fuel* yang dihasilkan dengan GC-MS, viskositas, densitas, dan *flash point* untuk melihat kelayakan sebagai bahan bakar.

### C. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Meningkatkan pemanfaatan silika sekam padi, untuk perolehan nilai tambah dari sektor pertanian.
2. Memberikan informasi pembuatan zeolit sintetis dengan metode baru, yaitu metode elektrokimia.
3. Memperoleh informasi ilmiah tentang jenis katalis zeolit sintetis yang efektif dalam proses pirolisis minyak kelapa sawit.
4. Mendapatkan informasi tambahan mengenai teknologi ramah lingkungan yakni *liquid fuel* yang dihasilkan dari minyak kelapa sawit.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Bahan Bakar Cair Terbarukan

Bahan bakar cair terbarukan merupakan bahan bakar cair non-fosil yang dihasilkan dari beragam bahan baku terbarukan, terutama biomassa, dengan proses biologis, kimia, dan termokimia. Bahan bakar cair terbarukan yang sudah dikenal dan terus dikembangkan adalah bioetanol, biodiesel, dan bahan bakar cair hasil perengkahan (pirolisis) biomassa. Bahan bakar cair hasil pirolisis suatu biomassa disebut juga sebagai *liquid fuel* atau *bio-fuel*, untuk membedakannya dari bioetanol dan biodiesel.

Bioetanol dapat dihasilkan dari gula reduksi dengan proses fermentasi. Pemakaian bahan baku ini menimbulkan masalah karena gula reduksi merupakan bahan pangan utama. Untuk mengatasi masalah tersebut, pengembangan yang dilakukan adalah memanfaatkan karbohidrat yang berukuran lebih besar, misalnya selulosa (Samsuri dkk, 2007) hemiselulosa (Rengel, 2007), dan pati (Arnata dan Anggraeni, 2013; Visiamah, 2016). Secara prinsip masalah dengan bahan baku dapat diatasi, akan tetapi dalam praktiknya masih terdapat beberapa kendala dalam produksi bioetanol. Penggunaan karbohidrat non-gula reduksi memerlukan perlakuan hidrolisis untuk mengubah karbohidrat tersebut menjadi gula reduksi yang selanjutnya dapat difermentasi. Proses fermentasi memerlukan mikroba dan substrat tambahan pendukung pertumbuhan mikroba agar menghasilkan enzim

yang cukup. Selain itu, untuk menghasilkan bioetanol secara optimal diperlukan waktu fermentasi yang cukup lama yaitu sekitar 72 jam.

Seperti halnya dengan bioetanol, biodiesel dapat dihasilkan dari minyak nabati yang juga tidak terbebas dari masalah praktis. Produksi bahan bakar alternatif ini masih terkendala oleh adanya persaingan antara kebutuhan pangan, karena meskipun pemanfaatan minyak nabati non-pangan terus diteliti secara intensif seperti minyak ketapang (Pratiwi, 2015), minyak jarak (Susanti, 2015), minyak biji karet (Fadilah, 2016), hingga sekarang minyak nabati pangan, terutama minyak kelapa (Padil dkk, 2010; Meliyana, 2015) dan minyak kelapa sawit (Prastyo dkk, 2011; Aristiani, 2016) masih menjadi bahan baku utama. Selain itu, pembuatan biodiesel juga memerlukan reaktan kedua, yakni alkohol, terutama metanol atau etanol. Karena kendala tersebut, harga biodiesel belum kompetitif dengan diesel konvensional.

Permasalahan yang terkait dengan dua jenis bahan bakar alternatif di atas merupakan pendorong semakin giatnya upaya pengembangan bahan bakar cair yang dihasilkan dengan proses (teknologi) pirolisis. Dari segi bahan bakunya, teknologi ini memiliki keunggulan karena dapat diterapkan pada semua jenis biomassa, baik produk tanaman, sisa tanaman, residu agroindustri, hingga limbah organik seperti limbah rumah tangga maupun limbah pasar. Teknologi ini tidak memerlukan bahan baku tambahan kecuali katalis dan prosesnya berlangsung dengan cepat serta perangkat yang sederhana.

## B. Pirolisis

Pirolisis merupakan proses pemecahan senyawa organik molekul besar dengan bantuan panas dalam kondisi oksigen yang terbatas atau tanpa adanya oksigen. Dalam proses ini, ikatan kimia yang ada di dalam molekul besar akan terputus menghasilkan senyawa yang lebih sederhana. Proses pirolisis berlangsung secara kompleks dan simultan, proses dekomposisi termal dari komponen organik dalam biomassa dimulai pada 350-550 °C dan dapat berlangsung hingga suhu 700-800 °C (Jahirul *et al.*, 2012). Rantai panjang karbon, hidrogen dan oksigen dalam biomassa terurai menjadi molekul yang lebih kecil dalam bentuk gas, zat cair, dan residu berupa karbon padat (*biochar*). Beberapa parameter yang mempengaruhi laju dan besarnya dekomposisi tergantung pada biomassa, suhu, tekanan, laju pemanasan, konfigurasi reaktor, dan lain-lain.

Berdasarkan proses pemanasan pirolisis dibedakan menjadi tiga cara yaitu, *slow pyrolysis*, *fast pyrolysis*, dan *flash pyrolysis*. Pada *slow pyrolysis*, proses pemanasan dilakukan dengan laju yang kecil sampai mencapai suhu optimum, temperatur rendah, dan membutuhkan waktu lama untuk menghasilkan produk padat dan gas. Proses ini biasanya digunakan untuk menghasilkan arang pada temperatur dan laju pemanasan yang rendah. Dalam proses ini, waktu tinggal uap berkisar antara 5 sampai 30 menit, sehingga komponen dalam fase uap terus bereaksi satu sama lain dan membentuk karbon padat dan cairan lainnya (Bridgwater *et al.*, 2001). Proses *Slow pyrolysis* ini memiliki beberapa keterbatasan teknologi yang membuat prosesnya tidak mungkin cocok untuk produksi *liquid fuel* dengan kualitas baik. Pirolisis produk utama dalam proses ini

terjadi akibat waktu tinggal yang lama dan dapat mempengaruhi hasil dan kualitas *liquid fuel*. Selain itu, waktu tinggal yang lama dan transfer panas yang rendah memerlukan energi ekstra (Tippayawong *et al.*, 2008).

*Fast pyrolysis* merupakan proses pemanasan biomassa secara cepat sampai suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Proses ini hanya membutuhkan waktu yang singkat dan temperatur yang digunakan antara 300-550 °C (Bridgewater and Peacocke, 2000). Berdasarkan persen berat, proses ini menghasilkan 60-75% produk cair, 10-20% gas dan 15-25% padatan (terutama *biochar*) bergantung pada bahan baku yang digunakan. Produk cairan biasanya dihasilkan dari biomassa dalam suhu rendah, laju pemanasan yang tinggi dan waktu tinggal yang pendek. Karakteristik dasar dari *fast pyrolysis* yaitu transfer panas dan laju pemanasan yang tinggi, uap waktu tinggal singkat, pendinginan uap dan aerosol yang cepat untuk menghasilkan *liquid fuel* dalam jumlah besar, yang dapat dicapai dengan mengatur suhu reaksi dengan tepat (Demirbas *et al.*, 2002).

*Flash pyrolysis*, proses pemanasan yang berlangsung sangat cepat pada temperatur yang lebih tinggi dari *fast pyrolysis* (Chhiti and Kemiha, 2013). *Flash pyrolysis* merupakan proses yang lebih menjanjikan untuk produksi bahan bakar padat, cair dan gas dari biomassa yang mencapai hingga 75% dari hasil *liquid fuel* (Demirbas, 2000). Proses ini diawali dengan devolatilisasi yang cepat dalam suasana inert, laju pemanasan dan suhu reaksi yang tinggi antara 450-1000 °C dan waktu tinggal gas yang sangat singkat (kurang dari 1 s) (Aguado *et al.*, 2002). Namun, proses ini memiliki beberapa keterbatasan teknologi, seperti: stabilitas termal yang rendah, sifat korosif dari produk cair, padatan tersuspensi dalam zat cair, peningkatan viskositas akibat pembentukan char, pemekatan alkali dalam

char yang terlarut dalam produk cair, dan produksi air secara pirolitik (Cornelissen *et al.*, 2008). Selain itu, *flash pyrolysis* membutuhkan biaya yang lebih mahal dari dua cara yang lain, sehingga dalam pemanfaatannya untuk memproduksi *liquid fuel* masih terbatas.

Secara umum, proses pirolisis menghasilkan tiga jenis produk, yakni gas, cair, dan padatan. Namun, dalam konteks pengembangan sumber energi terbarukan, produk cair, yang dikenal juga disebut sebagai *liquid fuel* merupakan target utama. Pada praktiknya, proses pirolisis diawali dengan pembentukan gas yang terdiri dari senyawa-senyawa berukuran kecil, misalnya CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub> (Oladeji, 2012). Pembentukan gas ini umumnya berlangsung pada suhu yang relatif rendah, yakni berkisar antara 200 – 300 °C, tergantung pada biomassa yang diolah. Tahap berikutnya akan dihasilkan produk cair, yang umumnya terjadi pada suhu 200 – 700 °C (Sukumar *et al.*, 2015). Produk akhir yaitu berupa padatan, yang juga dikenal sebagai *biochar*, dan pada umumnya terdiri dari karbon.

Dalam praktiknya, jumlah masing-masing produk dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama suhu, tekanan, waktu, (Newalkar *et al.*, 2014), jenis biomassa, ukuran biomassa, pemanasan, kadar air, dan penggunaan katalis (Oladeji *et al.*, 2015). Sebagai contoh, pada penelitian sebelumnya (Balat *et al.*, 2009; Bridgwater, 2007) dijelaskan bahwa pada suhu yang berbeda didapatkan produk dengan persen relatif yang berbeda pula, dimana semakin tinggi suhu maka kecenderungan produk cair bertambah sementara produk gas dan padatan berkurang. Selain suhu, jenis biomassa diketahui menghasilkan produk dengan komposisi yang berbeda. Sebagai contoh Zanzi *et al.* pada tahun 2002, menemukan bahwa hasil pirolisis kayu menghasilkan senyawa volatile lebih

banyak dibanding dengan yang dihasilkan dari residu pertanian seperti limbah zaitun dan jerami gandum.

Meskipun *liquid fuel* belum dapat digunakan sebagai bahan bakar transportasi, sumber energi terbarukan ini memiliki berbagai manfaat, antara lain sebagai bahan bakar rumah tangga pengganti minyak diesel (Darmanto dan Sigit, 2006), bahan bakar pengganti minyak tanah (Wina dkk, 2008), industri penempahan logam, industri penempahan emas, dan boiler dalam industri.

*Liquid fuel* yang diperoleh dengan proses pirolisis pada prinsipnya tidak terkendala oleh bahan baku, karena dapat dihasilkan dari semua bahan organik berukuran besar, atau biomassa. Di Indonesia banyak ditemukan bahan baku biomassa yang dapat diolah menjadi *liquid fuel* misalnya jerami padi (Jung *et al.*, 2008) yang menghasilkan bahan cair pada suhu pirolisis 440-450 °C dan serbuk bambu pada suhu pirolisis 405-450 °C, metode pirolisis dengan bahan baku sekam padi menghasilkan zat cair sebesar 46,36% dan gas sebesar 27% , sisanya adalah tar (Xiujuan *et al.*, 2011).

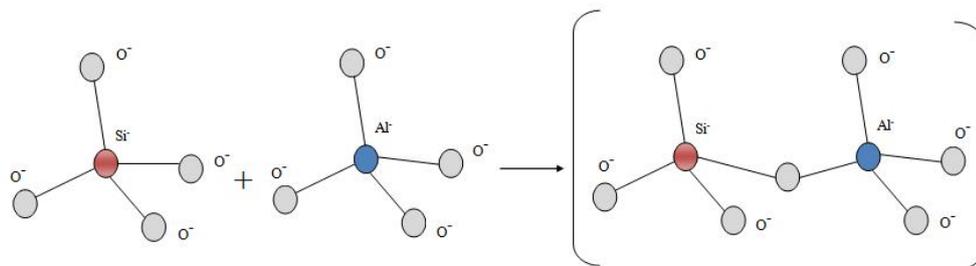
Menurut penelitian Wijanarko dkk (2006) pirolisis dilakukan dengan minyak sawit pada suhu pirolisis 260-340 °C yang menghasilkan produk yang mirip dengan bensin komersial berdasarkan uji viskositas, densitas, karakterisasi FTIR dan GCMS dengan rendemen 11,8%. Sundaram and Natarajam (2009) melakukan penelitian dengan pirolisis tempurung kelapa menghasilkan produk fasa padat 22 – 31%, fasa cair 38 – 44% dan gas sebesar 30 – 33%. Berdasarkan gagasan tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku *liquid fuel* dengan metode pirolisis.

## C. Zeolit

### 1. Pengertian Zeolit

Zeolit merupakan suatu senyawa alumino silikat berbentuk tiga dimensi, yang terbentuk dari alumina dan silika dengan rongga-rongga di dalam yang berisi ion-ion logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas.

Pada umumnya, struktur zeolit yaitu suatu polimer anorganik berbentuk tetrahedral. Secara kimia, zeolit merupakan mineral aluminosilikat dengan komponen utama adalah  $\text{AlO}_4^{4-}$  dan  $\text{SiO}_4^{4-}$  seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Struktur kimia zeolit (Haag, 1984)

Struktur zeolit memiliki rumus umum  $M_{x/n} [(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot wH_2O$ , dimana M adalah suatu kation alkali atau alkali tanah, n merupakan jumlah valensi kation, w adalah banyaknya molekul air per satuan unit sel, x dan y adalah angka total tetrahedral per satuan unit sel, dan nisbah  $y/x$  biasanya bernilai 1 sampai 5, meskipun ditemukan juga zeolit dengan nisbah  $y/x$  antara 10 sampai 100 (Bekkum *et al.*, 1991).

Pada umumnya terdapat dua jenis zeolit, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetik.

Zeolit alam merupakan zeolit yang terbentuk secara alami dan terdapat sebagai

mineral dengan komposisi yang berbeda. Contoh zeolit alam yang banyak ditemukan disajikan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Contoh zeolit alam (Subagio, 1993)

No	Zeolit Alam	Komposisi
1	Kabazit	$(\text{Na}_2, \text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$
2	Klipnotilolit	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
3	Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
4	Heulandit	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
5	Erionit	$(\text{Na}, \text{Ca}_5\text{K})(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
6	Ferrierit	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
7	Natrolit	$\text{Na}_4(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
8	Laumonit	$\text{Ca}(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
9	Mordenit	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
10	Filipsit	$(\text{Na}, \text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
11	Wairali	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Berdasarkan fungsinya sebagai katalis, zeolit alam memiliki kelemahan karena kristalinitasnya kurang baik dan mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg, dan Fe (Lestari, 2010). Adanya pengotor ini dapat mengurangi aktivitas zeolit sebagai katalis, sehingga digagas pengembangan zeolit sintetik.

## 2. Zeolit Sintetik

Zeolit sintetik merupakan zeolit yang dibuat dengan tujuan agar didapatkan suatu material dengan sifat fisika dan kimia yang lebih baik dari zeolit alam. Zeolit jenis ini sangat bergantung pada jumlah Si dan Al, sehingga dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok, yakni : (1) Zeolit sintetik dengan kadar Si yang rendah, zeolit jenis ini banyak mengandung aluminium, berpori, mempunyai nilai ekonomis tinggi karena efektif untuk pemisahan dengan kapasitas besar, volume porinya dapat mencapai  $0,5 \text{ cm}^3$  tiap  $\text{cm}^3$  volume zeolit. (2) Zeolit sintetik dengan kadar Si sedang, contoh zeolit sintetik jenis ini adalah zeolit omega ( $\Omega$ ) dengan nisbah

Si/Al = 1-3. (3) Zeolit sintetik dengan kadar Si yang tinggi, zeolit jenis ini sangat higroskopis dan mudah menyerap molekul non polar sehingga baik untuk digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon.

Dengan semakin berkembangannya penelitian, dewasa ini telah dikenal beragam zeolit sintetik, dan beberapa diantaranya disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Rumus oksida beberapa jenis zeolit sintetik (Georgiev *et al.*, 2009)

Jenis Zeolit	Rumus Oksida
<b>Zeolit A</b>	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$
<b>Zeolit N-A</b>	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ TMA- $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
<b>Zeolit H</b>	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
<b>Zeolit L</b>	$(\text{K}_2\text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<b>Zeolit X</b>	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,5\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
<b>Zeolit Y</b>	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 8,9\text{H}_2\text{O}$
<b>Zeolit P</b>	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2-5\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<b>Zeolit O</b>	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ TMA- $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
<b>Zeolit <math>\Omega</math></b>	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ TMA- $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
<b>Zeolit ZK-4</b>	$0,85\text{Na}_2\text{O} \cdot 0,15(\text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3,3\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
<b>Zeolit ZK-5</b>	$(\text{R}, \text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4-6\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, prinsip dasar produksi zeolit sintetik yaitu komponennya yang terdiri dari silika dan aluminium. Berdasarkan komposisi tersebut, berbagai penelitian untuk menghasilkan zeolit sintetik telah dilakukan dan difokuskan pada dua aspek, yakni bahan baku dan metode preparasi. Pada umumnya, zeolit sintetik diproduksi dari bahan baku berupa senyawa silika yang mudah larut dalam air seperti *tetra methyl ortho silicate* (TMOS) dan *tetra ethyl ortho silicate* (TEOS), sedangkan untuk senyawa alumina didapatkan dari aluminium nitrat (Wang *et al.*, 2010) dan aluminium klorida (Dirdianti, 2011). Berdasarkan bahan baku tersebut, zeolit dapat dibuat dengan metode sol-gel.

Bahan baku lain yang telah dimanfaatkan berupa padatan, misalnya *fume* silika (Tomiyama *et al.*, 2003; Barrault *et al.*, 2002) dan alumino silikat (Dirdianti, 2011), untuk bahan baku ini metode yang digunakan adalah hidrotermal (Wustoni, 2011). Teknik lainnya adalah *microwave*, pada teknik ini gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 300 MHz – 300 GHz dipaparkan ke dalam campuran larutan aluminat dan silikat sampai terbentuk campuran zeolit yang homogen (Li and Yang, 2008).

Berdasarkan beberapa jenis bahan baku dan metode sintesis yang telah disebutkan di atas, terdapat beberapa kelemahan, diantaranya bahan baku silika TEOS dan TMOS merupakan produk impor yang harganya mahal, metode preparasi zeolit dengan hidrothermal memerlukan waktu yang lama dan banyak bahan kimia yang terbuang, serta teknik pembuatan zeolit dengan metode *microwave* masih dipertanyakan mengenai keamanan dan efek kesehatan bagi pengguna karena tingginya frekuensi yang digunakan (Gharibeh *et al.*, 2004).

Berdasarkan permasalahan yang telah di paparkan diatas, dalam penelitian ini digagas pembuatan zeolit sintetik dari bahan baku sekam padi dengan metode elektrokimia. Metode ini digagas berdasarkan dua latar belakang yakni pemanfaatan silika sekam padi dan pemanfaatan logam alumunium.

Vitolo *et al.*, (2001) menggunakan zeolit HZSM-5 sebagai katalis dalam pirolisis kayu pada rentang suhu 450-500 °C dengan perbandingan Si/Al 50 (HZSM-5/50) dan 80 (HZSM-5/80) dan optimal pada suhu 500 °C. Dengan menggunakan katalis zeolit ZSM-5, Pattiya *et al.* (2008) telah mengolah rimpang singkong menjadi *liquid fuel* pada suhu pirolisis 500 °C menghasilkan produk cair berupa

senyawaan hidrokarbon aromatik dan fenol yang tinggi. Zeolit ZSM-5 juga telah digunakan sebagai katalis pirolisis batang jagung dengan metode *fast pyrolysis* (Uzun and Sarioglu, 2009) menggunakan *fixed-bed reactor*, produk cair yang dihasilkan sebanyak 27,55%.

#### **D. Minyak Kelapa Sawit**

Menurut *Integrated Taxonomic Information System (ITIS) database* tahun 2011, tanaman kelapa sawit diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae  
Subkingdom : Viridiplantae  
Infra kingdom : Streptophyta  
Superdivision : Embryophyta  
Division : Tracheophyta  
Subdivision : Spermatophytina  
Class : Magnoliopsida  
Order : Arecales  
Family : Arecaceae  
Genus : *Elaeis* Jacq.  
Species : *Elaeis guineensis* Jacq.

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) merupakan tanaman yang hidup di daerah tropis maupun subtropis, dan dapat tumbuh pada ketinggian 1 – 500 meter di atas permukaan laut dengan suhu udara sekitar 24 – 28 °C dan tingkat kelembaban yang tinggi mencapai 80 – 90%.



**Gambar 2.** Tanaman Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit merupakan tanaman yang mengandung 50 % minyak (Sa'diah, 2009). Minyak kelapa sawit memiliki kandungan asam lemak dengan komposisi 40 – 46% asam palmitat; 3,6 – 4,7% asam stearat; 39 – 45% asam oleat; 7 – 11% asam linoleat; dan 1,1 – 2,5% asam miristat (Ketaren, 1986).

#### **E. Silika Sekam Padi**

Sekam padi merupakan hasil samping penggilingan padi yang paling melimpah yaitu sekitar 18 – 20%. Di dalam sekam padi terdapat kandungan silika dengan kadar sekitar 20% (Simanjuntak *et al.*, 2016). Karena kandungan silika yang cukup tinggi dalam sekam padi, sekam padi berpotensi besar sebagai sumber silika untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku sintesis zeolit. Silika sekam padi juga telah dimanfaatkan secara luas untuk pembuatan keramik (Sembiring, 2011; Sembiring, *et al.*, 2014), katalis (Adam, 2006; Saroinsong, 2015), serta berbagai material komposit (Suka, 2009; Marlina, 2012).

Dewasa ini silika sekam padi telah banyak dimanfaatkan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika mineral, yaitu mudah didapatkan dari sekam padi dengan biayanya cukup murah (Cao *et al.*, 2013; Fadilah, 2015),

butirannya halus, lebih reaktif serta ketersediaan bahan baku yang melimpah dan dapat diperbaharui. Sembiring dkk (2009) menyatakan bahwa silika dari sekam padi dapat diperoleh dengan cara ekstraksi atau dengan pengabuan. Agung dkk (2013) melakukan ekstraksi silika dari abu sekam padi menggunakan pelarut KOH dengan beberapa variasi konsentrasi dan menggunakan variasi waktu, hasil silika terbesar yang didapat pada KOH 10% dan waktu 90 menit sebesar 50,49%.

Suka dkk (2008) berhasil melakukan karakterisasi silika dari sekam padi Provinsi Lampung yang diperoleh dengan menggunakan metode ekstraksi. Preparasi yang dilakukan adalah dengan merendam sekam padi selama 2 jam dan dicuci berulang kali dengan air panas untuk menghilangkan pengotor organik. Sekam padi yang telah bersih direndam dengan KOH 5% selama 60 menit dan filtrat yang dihasilkan diasamkan dengan HCl hingga pH mencapai 7,0. Dari hasil karakterisasi yang dilakukan dengan FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi siloksan yang ditandai dengan adanya puncak Si-OH dan Si-O-Si. Hal ini didukung dengan hasil karakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) yang menunjukkan bahwa silika adalah amorf dengan fase kristobalit. Komponen lain yang terkandung dalam sekam padi berdasarkan karakterisasi dengan EDX meliputi O, Na, Mg, Al, Si, K, dan Ca. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kadar silika dari sekam padi yang diekstraksi mencapai 40,8% dengan kemurnian 95,53%.

## **F. Pembuatan Zeolit dengan Metode Elektrokimia**

### **1. Elektrolisis**

Metode elektrokimia menurut Chang (2010) merupakan metode yang berkenaan dengan interkonversi energi listrik dan energi kimia. Proses elektrokimia adalah reaksi redoks di mana dalam reaksi ini energi yang dilepas oleh reaksi spontan diubah menjadi listrik atau di mana energi listrik digunakan agar reaksi yang nonspontan bisa terjadi. Metode elektrokimia ini terdiri atas dua sel yaitu sel volta (galvanik) dan sel elektrolisis.

Sel elektrolisis ialah proses yang menggunakan energi listrik agar reaksi kimia dapat berlangsung. Rangkaian sel elektrolisis menyerupai sel volta.

Perbedaannya adalah pada komponen voltmeter pada sel volta diganti dengan sumber arus pada sel elektrolisis. Larutan atau lelehan yang ingin dielektrolisis ditempatkan dalam suatu wadah dan elektoda yang digunakan dicelupkan ke dalam larutan atau lelehan tersebut. Umumnya, elektoda yang digunakan adalah elektoda inert (tidak ikut bereaksi) seperti Grafit (C), Platina (Pt), dan Emas (Au). Elektoda ini nantinya akan menjadi tempat berlangsungnya reaksi, reduksi berlangsung di katoda (-) dan oksidasi berlangsung di anoda (+). Katoda yang bermuatan negatif akan menarik kation-kation yang akan tereduksi menjadi endapan logam, sedangkan anoda yang bermuatan positif akan menarik anion-anion yang akan teroksidasi menjadi gas (Silberberg, 2007).

Metode elektrolisis merupakan metode untuk mendapatkan serbuk logam dengan bantuan energi listrik. Berdasarkan Hukum Faraday, jumlah arus listrik yang

mengalir berbanding lurus dengan massa yang terbentuk atau tereduksi.

Keberhasilan proses elektrolisis meliputi besarnya tegangan listrik, keasaman larutan, luas, jarak dan jenis elektroda, kerapatan arus listrik, dan waktu proses (Lawrence, 1984).

## **2. Reaksi pada Elektroda**

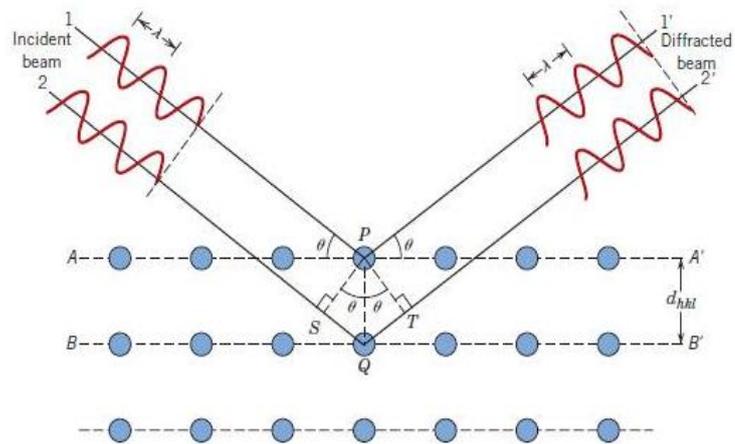
Reaksi elektrolisis dalam larutan elektrolit berlangsung lebih kompleks. Reaksi yang terjadi bergantung pada potensial spesi-spesi yang terdapat dalam larutan. Kation direduksi di katoda, sedangkan anion dioksidasi di anoda. Pada proses elektrolisis air dengan elektroda aluminium, pada anoda terjadi oksidasi Al menjadi  $Al^{3+}$  dan pada katoda air mengalami reduksi menghasilkan gas hidrogen ( $H_2$ ) (Holtet *et al.*, 2002).

## **G. Karakterisasi Zeolit**

### **1. X-Ray Diffraction (XRD)**

Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengidentifikasi fasa suatu katalis dan untuk menentukan sifat kristal atau kristalinitas dari suatu katalis. Kebanyakan dari katalis berbentuk padatan kristal seperti oksida logam, zeolit, dan logam yang berpenyangga. XRD menjadi teknik yang cukup handal dan mendasar untuk mengevaluasi sifat-sifat fasa kristal dan ukuran kristal (Leofanti *et al.*, 1997).

Pada analisis menggunakan XRD, kristal katalis memantulkan sinar-X yang dikirimkan dari sumber dan diterima oleh detektor. Sinar-X yang mengenai suatu bahan akan dipantulkan sehingga menghasilkan spektrum pantulan yang spesifik dan berhubungan langsung dengan kisi kristal yang dianalisis. Pola difraksi dikelompokkan berdasarkan intensitas peak yang menyatakan peta parameter kisi kristal atau indeks Miller ( $hkl$ ) sebagai fungsi  $2\theta$ , dimana  $\theta$  menyatakan sudut difraksi berdasarkan persamaan Bragg Richardson (1989). Pada persamaan interpretasi Hukum Bragg dilakukan berdasarkan asumsi bahwa permukaan dari mana sinar X dipantulkan adalah datar. Hukum Bragg diturunkan berdasarkan karakteristik difraksi sinar-X oleh suatu zat, seperti ditunjukkan dalam Gambar 3 di bawah ini.



**Gambar 3.** Pola difraksi sinar-X oleh padatan

Berdasarkan Gambar 3, jika seberkas sinar-X dikenai pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor, kemudian diterjemahkan sebagai puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang sama terdapat dalam sampel, semakin kuat

intensitas pembiasan yang dihasilkan. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu puncak bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi (Auda, 2009).

Pada persamaan interpretasi Hukum Bragg dilakukan berdasarkan asumsi bahwa permukaan dari mana sinar X dipantulkan adalah datar.

$$\lambda = 2d \sin \theta$$

Dimana  $d$  menyatakan jarak antar lapisan atom atau ion yang berdekatan,  $\lambda$  yang menyatakan panjang gelombang radiasi sinar-X, dan  $n$  adalah urutan pantulan.

Kristalinitas dapat juga ditentukan dengan XRD melalui perbandingan intensitas atau luasan peak sampel dengan intensitas atau luasan peak standar yang ditunjukkan pada persamaan :

$$\text{Kristalinitas} = \frac{\text{Intensitas peak hkl sampel}}{\text{Intensitas peak hkl standar}} \times 100\%$$

Lebar *peak* XRD merupakan fungsi dari ukuran partikel, maka ukuran kristal (*crystallite size*) dinyatakan dalam persamaan Scherrer berikut (Richardson, 1989):

$$\text{Crystallite size} = \frac{K\lambda}{(B^2 - b^2)^{1/2} \cos(\theta/2)}$$

Dimana  $K=1.000$ ,  $B$  adalah lebar peak untuk jalur difraksi pada sudut  $2\theta$ ,  $b$  adalah *Instrument peak broadening* ( $0,1^\circ$ ), dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang pada  $0,154$  nm (Wolfovich *et al.*, 2004; Richardson, 1989). Suku  $(B^2 - b^2)^{1/2}$  adalah lebar peak untuk *corrected instrumental broadening*.

Metode XRD banyak digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan besarnya bagian fasa padatan, film tipis, dan sampel multi fasa. Salah satu alat

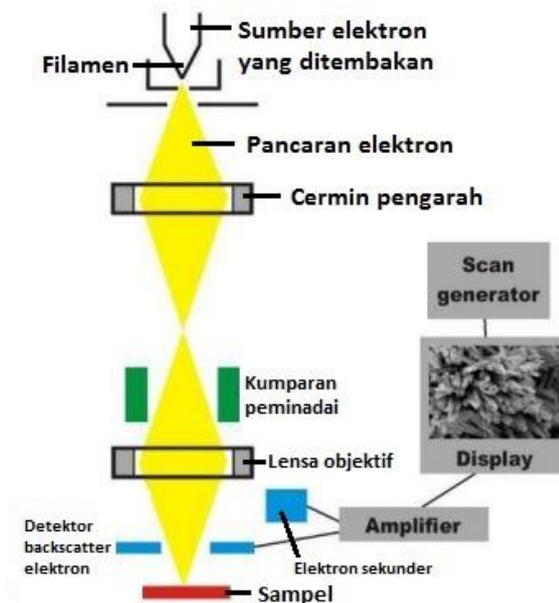
XRD yang biasa digunakan adalah Siemen D5000 yang menggunakan radiasi Cu-K $\alpha$  radiation. Tabung X-ray dioperasikan pada 40 kV dan 30 mA.

Karakteristik yang paling penting dari katalis logam berpenyangga adalah :

- Ukuran dan dispersi kristal, yang merupakan fraksi atau jumlah bagian atom logam yang berhubungan dengan jumlah situs aktif
- Distribusi di dalam granul penyangga, yang menentukan akses ke situs-situs aktif.
- Rasio antar permukaan kristal, yang mempunyai peran penting dalam reaksi sebagai struktur yang sensitif

## **2. *Scanning Electron Microscope (SEM)***

SEM merupakan alat yang sangat kuat untuk menguji, menginterpretasikan mikro-struktur dari suatu material, dan secara luas digunakan dalam ilmu material. Mikroskop ini digunakan untuk mempelajari struktur permukaan obyek, yang secara umum diperbesar antara 1.000-40.000 kali. Prinsip dasar dari SEM ialah interaksi antara berkas elektron dengan spesimen padatan, seperti dilukiskan dalam Gambar 4.



**Gambar 4.**Skema alat *Scanning Electron Microscope*

*Electron gun* adalah suatu sumber elektron dengan energi yang tinggi dipancarkan dari sebuah filamen seperti tungsten, yang berfungsi sebagai katoda. Hal ini akan mengakibatkan elektron mengalir menuju anoda. Dalam prinsip pengukuran SEM dikenal ada dua jenis elektron, yaitu elektron primer dan elektron sekunder.

Elektron primer merupakan elektron berenergi tinggi yang dipancarkan dari sebuah katoda (Pt, Ni, W) yang dipanaskan. Katoda yang biasa digunakan adalah tungsten (W) atau *lanthanum hexaboride* ( $\text{LaB}_6$ ). Tungsten digunakan sebagai katoda karena memiliki titik lebur yang paling tinggi dan tekanan uap yang paling rendah dari semua logam, sehingga memungkinkannya dipanaskan pada temperatur tinggi untuk emisi elektron. Elektron sekunder adalah elektron berenergi rendah, yang dibebaskan oleh atom pada permukaan, setelah permukaan dikenai oleh berkas elektron elektron primer. Elektron sekunder inilah yang akan

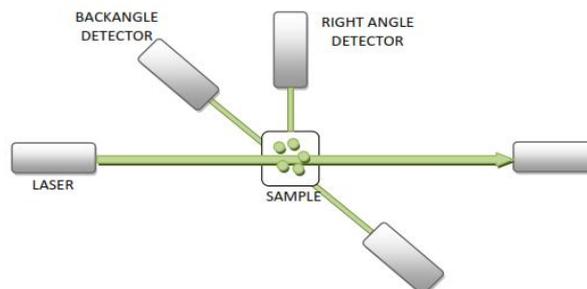
ditangkap oleh detektor dan mengubah sinyal tersebut menjadi suatu gambar, yang dikenal sebagai mikrograf.

Ketika arus mengalir melalui filamen maka terjadi perbedaan potensial antara katoda dan anoda akibat pancaran elektron (*electron beam*). Kemudian berkas elektron difokuskan ke suatu titik pada permukaan sampel dengan menggunakan cermin pengarah (*condenser lens*). Gelombang elektron yang dipancarkan *electron gun* terkondensasi di lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. Kumputan pemindai (*scanning coil*) yang diberi energi menghasilkan medan magnetik. Berkas elektron yang mengenai cuplikan menghasilkan elektron sekunder (*secondary electron*) dan kemudian dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor *backscatter*.

Mikrograf yang dihasilkan dari analisis dengan SEM memberikan beberapa informasi yang berkaitan dengan morfologi permukaan sampel, yakni ukuran butir, distribusi butir, dan porositas permukaan.

### 3. *Particle Size Analyzer (PSA)*

Karakterisasi menggunakan PSA dimaksudkan untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel dari suatu sampel. Prinsip dasar PSA disajikan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Skema Alat PSA

Dalam skema di atas, berkas cahaya (laser) dilewatkan melalui sel berisi sampel. Sampel dengan ukuran besar ketika terkena cahaya dari laser akan membentuk berkas cahaya dan dapat dilakukan dengan mendispersikan sampel dengan dua cara. Berdasarkan cara ini metode PSA dibedakan menjadi metode basah dan metode kering. Pada sudut yang kecil dan sebaliknya. Sudut yang terbentuk akan diteruskan melewati satu dari dua detektor (*backangle detector* dan *right angle detector*), dan selanjutnya diteruskan ke pengolahan data, menghasilkan kurva yang menunjukkan distribusi ukuran partikel sampel.

Dalam praktiknya, analisis PSA metode basah dilakukan pelarut sebagai media pendispersi. Apabila digunakan sampel yang larut air maka digunakan pelarut organik, sedangkan untuk sampel yang larut pada pelarut organik, maka bisa digunakan air sebagai media pendispersinya. Hal ini dimaksudkan agar partikel tidak saling menyatu hingga menggumpal. Dalam metode kering memanfaatkan aliran udara untuk mendispersikan partikel. Metode ini baik digunakan untuk partikel yang bobotnya tidak terlalu ringan.

#### **4. *X-Ray Fluorescence (XRF)***

Mengidentifikasi unsur-unsur dalam katalis yang diperoleh secara kuantitatif dan kualitatif juga diperlukan untuk mengetahui kualitas material katalis yang diperoleh. Identifikasi unsur-unsur dalam suatu material dapat dilakukan dengan melakukan analisis *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Prinsip kerja metode XRF terjadi berdasarkan tumbukan atom-atom pada permukaan sampel oleh sinar-X. Analisis XRF juga dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur berdasarkan pada

panjang gelombang dan jumlah sinar-X yang dipancarkan kembali setelah semua material ditembak sinar-X berenergi tinggi.

Prinsip kerja XRF ialah dengan menggunakan sinar-X dari tabung pembangkit sinar-X untuk mengeluarkan elektron dari kulit bagian dalam untuk menghasilkan sinar-X baru dari sampel yang dianalisis. Analisis XRF dilakukan berdasarkan identifikasi karakteristik sinar-X yang terjadi akibat efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target pada sampel terkena sinar berenergi tinggi. Spektrometri XRF memanfaatkan elektron berenergi tinggi yang ditembakkan mengenai sampel, kemudian sinar-X yang dihamburkan ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam sampel tersebut (Kriswarini dkk, 2010).

#### **5. *Fourier Transform InfraRed (FTIR)***

FTIR merupakan suatu teknik analisis yang digunakan untuk melihat atom-atom dalam sebuah molekul melalui vibrasi-vibrasi yang ditimbulkan oleh atom tersebut. Untuk dapat melihat atom-atom tersebut diperlukan suatu spektrum IR yang diperoleh dengan cara menembakkan radiasi sinar infra merah ke sampel menentukan fraksi apa yang terjadi saat melewati radiasi yang terabsorpsi dengan energi khusus. Energi yang terdapat pada beberapa puncak dalam sebuah spektrum absorpsi menunjukkan kecocokan terhadap frekuensi pada vibrasi dari sebagian molekul sampel (Ayyad, 2011).

Prinsip dasar dari analisis spektrofotometri IR adalah penyerapan radiasi elektromagnetik oleh gugus-gugus fungsi tertentu, sehingga dari spektrum serapan

yang terbaca kita mampu mengetahui gugus fungsi apa saja yang terdapat pada suatu senyawa. Bila sinar inframerah dilewatkan melalui sebuah cuplikan, maka sejumlah frekuensi diserap oleh cuplikan tersebut dan frekuensi lainnya diteruskan atau ditransmisikan tanpa adanya penyerapan. Hubungan antara persen absorbansi dengan frekuensi maka akan dihasilkan sebuah spektrum inframerah (Hardjono, 1990).

Analisis dengan FTIR untuk sample komposit anorganik pada umumnya dimaksudkan untuk melihat gugus fungsi yang terkait dengan penyusunan sampel. Untuk zeolit, gugus fungsi yang dapat dideteksi dengan FTIR adalah pita serapan melebar dengan intensitas kuat pada daerah  $1095-1092\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan karakteristik vibrasi gugus siloksan (Si-O-Si), pita serapan sekitar  $420-494\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus Si-O-Al. Pita serapan lainnya yang menunjukkan adanya vibrasi Al-O yaitu pada daerah  $470-480\text{ cm}^{-1}$ . Pada bilangan gelombang  $3300\text{ cm}^{-1}$  terdapat pita serapan gugus fungsi OH dari molekul air. Pada pita serapan sekitar  $3400\text{ cm}^{-1}$  tersebut terjadi tumpang tindih pada pita serapan dari *stretching* asimetris dan simetris pada molekul air. Pita serapan yang lebar pada panjang gelombang tersebut disebabkan oleh adanya hidrat dan molekul air yang berikatan langsung dengan kation penyeimbang.

Secara khusus, FTIR dapat menunjukkan adanya situs asam Bronsted atau Lewis yang terdapat dalam sampel. Adanya situs asam Bronsted ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang sekitar  $1540-1545\text{ cm}^{-1}$ , sedangkan situs asam Lewis ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang sekitar  $1440-1452\text{ cm}^{-1}$  (Platon and Thomson, 2003).

## H. Karakterisasi *Liquid Fuel*

### 1. Analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*

GC-MS merupakan suatu metode gabungan dari kromatografi gas dan spektrometri massa. Kromatografi gas berfungsi untuk memisahkan komponen-komponen sampel dan spektrometri massa sebagai detektor, yang akan memberi informasi tentang bobot molekul dan fragmen molekul sesuai dengan struktur komponen yang terdeteksi oleh MS.

Prinsip kerja dari GC-MS yaitu molekul – molekul gas bermuatan akan diseleksi berdasarkan massa dan beratnya, spektrum yang didapat dari perubahan sampel menjadi ion – ion yang bergerak, kemudian dipisahkan berdasarkan perbandingan massa terhadap muatan ( $m/e$ ). Ionisasi menghasilkan fragmen – fragmen yang akan menghasilkan spektrum. Spektrum massa merupakan gambar antara limpahan relatif dengan perbandingan massa per muatan ( $m/e$ ) (McLafferty, 1988). Spektra massa disajikan dari puncak-puncak utama yang diperoleh dengan memuat harga massa per muatan ( $m/e$ ) terhadap kelimpahan relatif. Kelimpahan tersebut disebut puncak dasar (*base peak*) dari spektra dan dinyatakan sebagai 100%, yang menunjukkan bobot molekul senyawa. Puncak – puncak lain, yang secara umum dikenal sebagai fragmen molekul, memiliki harga relatif terhadap puncak dasar. Dengan data tersebut maka dapat diperkirakan bagaimana struktur molekul dari senyawa yang dianalisis (Cresswell *et al.*, 1982).

Dalam praktiknya, sekarang telah tersedia sistem kepustakaan senyawa berdasarkan analisis GC-MS, dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi

komponen dalam sebuah sampel dengan cara membandingkan spektrum massa sampel dengan spektrum massa standar yang ada dalam sistem kepastakaan. Sejumlah besar senyawa sudah dirangkum dalam suatu sistem kepastakaan yang sudah tersedia dalam bentuk perangkat lunak komputer, diantaranya sistem kepastakaan Willey229 LIB, dan Nist12 LIB. Dengan bantuan sistem kepastakaan ini identifikasi senyawa dalam suatu sampel dapat dilakukan dengan membandingkan spektrum MS dari sampel dengan spektrum MS senyawa yang sudah ada dalam sistem kepastakaan.

## **2. Karakteristik Fisik**

Selain komponen kimia, kelayakan *liquid fuel* juga dianalisis berdasarkan beberapa parameter fisik. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7431:2015, beberapa parameter fisik sebagai acuan kelayakan *liquid fuel* untuk digunakan adalah: densitas, viskositas, angka setana, dan titik nyala.

### **A. Densitas**

Pengertian, kaitan dengan bahan bakar, cara pengukuran, standar. Densitas adalah perbandingan antara berat persatuan volume minyak solar. Karakteristik ini sangat berhubungan erat dengan nilai panas kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan bahan bakar yang digunakan. Cara pengukuran densitas dapat dilakukan dengan menggunakan piknometer. Densitas yang disarankan untuk *liquid fuel* berdasarkan SNI7431:2015 yaitu  $900-920 \text{ kg/m}^3$ .

## **B. Viskositas**

Viskositas adalah suatu nilai yang menyatakan besarnya hambatan aliran suatu bahan cair. Viskositas disebabkan adanya gaya kohesi atau gaya tarik menarik antara molekul sejenis. Pengukuran viskositas suatu cairan dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain, metode bola jatuh, silinder konsentrik, metode *plate and cone*, piringan sejajar, dan metode kapilaritas (Hananto, 2011). Semakin tinggi viskositas, makin kental maka semakin sukar bahan cair untuk mengalir (Wardan dan Zainal, 2003). Viskositas merupakan parameter penting dalam menentukan baku mutu suatu bahan bakar. Pada dasarnya, bahan bakar harus memiliki viskositas yang relatif rendah agar mudah mengalir dan teratomisasi. Jika harga viskositas terlalu tinggi maka akan menyebabkan gesekan di dalam pipa akan semakin besar, kerja pompa akan berat, penyaringannya sulit dan kemungkinan besar kotoran ikut terendap, serta sulit mengabutkan bahan bakar (Dyah, 2011). Viskositas yang disarankan untuk *liquid fuel* berdasarkan SNI7431:2015 yaitu maksimum  $36 \text{ mm}^2/\text{s}$  (cSt).

## **C. Titik Nyala (*Flash Point*)**

Titik nyala, suatu angka yang menyatakan suhu terendah bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak didekatkan pada nyala api. Titik nyala ini diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala yang disarankan untuk *liquid fuel* berdasarkan SNI7431:2015 yaitu minimal  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 3 bulan yaitu pada bulan Februari 2017 hingga April 2017, bertempat di Laboratorium Kimia Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis sampel dan karakterisasi zeolit untuk *Particle Size Analyzer* (PSA) akan dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi, Universitas Lampung, analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi dan Kelautan, Bandung, analisis *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) dilakukan di Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong, analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan di Universitas Andalas, Padang dan analisis *Gas Chromatography – Mass Spectrometry*(GC-MS) di Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

## **B. Alat dan Bahan**

### **1. Alat-Alat yang Digunakan**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, perangkat elektrokimia, perangkat pirolisis, penangas, *magnetic stirrer*, oven, saringan, dan peralatan gelas, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*, *Particle Size Analyzer (PSA)*, *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*, viskometer, dan piknometer.

### **2. Bahan-Bahan yang Digunakan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : sekam padi, larutan NaOH 1,5 %, larutan HNO<sub>3</sub> 10 %, akuades, indikator pH, kertas saring, batangan aluminium, dan minyak kelapa sawit.

## **C. Prosedur Penelitian**

### **1. Pembuatan larutan HNO<sub>3</sub> 10 %**

Untuk membuat larutan HNO<sub>3</sub> 10 % sebanyak 1000 mL yakni melarutkan 147 mL HNO<sub>3</sub> pekat dalam 853 mL akuades atau sampai tanda tera.

## **2. Pembuatan larutan NaOH 1,5 %**

Untuk membuat larutan NaOH 1,5 %, ditimbang sebanyak 1,5 gram NaOH yang kemudian dilarutkan dalam 100 mL akuades.

## **3. Preparasi Sekam Padi**

Pada penelitian ini langkah awal yang dilakukan adalah preparasi sekam padi. Preparasi dilakukan dengan merendam sekam padi dalam air panas selama 2 jam untuk menghilangkan pengotor. Sekam padi kemudian dicuci beberapa kali menggunakan air panas untuk menghilangkan bahan organik larut air yang masih menempel pada sekam. Sekam padi yang telah bersih dikeringkan dan setelah kering limbah sekam padi siap untuk diekstraksi.

## **4. Ekstraksi Silika dari Sekam Padi**

Sebanyak 50 gram sekam padi yang telah bebas dari pengotor bahan organik larut air direndam dalam 500 mL  $\text{HNO}_3$  1M kemudian didiamkan selama 24 jam. Selanjutnya, sekam padi direndam dengan NaOH 1,5 % dan dipanaskan hingga mendidih selama 30 menit. Kemudian sampel disaring dan filtrat yang mengandung silika terlarut ditampung. Silika dalam filtrat diendapkan dengan penambahan  $\text{HNO}_3$  secara bertahap hingga terdapat endapan berbentuk gel. Gel silika didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar. Selanjutnya, gel silika disaring

dan dicuci dengan air panas hingga bersih. Silika yang diperoleh dikeringkan pada oven dengan suhu 70 °C dan silika yang telah kering dihaluskan.

### **5. Pembuatan Sol Silika Sekam Padi**

Sebanyak 20 gram silika hasil ekstraksi dimasukkan ke dalam 600 mL larutan NaOH 1,5 %, kemudian dipanaskan sambil diaduk hingga larut.

### **6. Pembuatan Katalis Zeolit dengan Metode Elektrokimia**

Dalam percobaan, 600 mL sol silika diencerkan dengan 1400 mL akuades, kemudian diasamkan dengan HNO<sub>3</sub> 10 % secara bertahap hingga diperoleh pH campuran 7 pada reaktor elektrolisis. Pada reaktor, ditempatkan batangan alumunium sebagai katoda dan anoda, selanjutnya dielektrolisis pada variasi potensial 6, 8, dan 10 volt. Masing – masing potensial dielektrolisis dengan variasi waktu 1, 2, dan 3 jam. Sampel hasil elektrolisis dikeringkan pada suhu 90 °C, setelah kering sampel dihaluskan (Susanti, 2015).



**Gambar 6.** Reaktor elektrokimia

## 7. Kalsinasi Katalis

Masing-masing katalis yang telah dihasilkan dari proses elektrokimia disiapkan, kemudian dimasukkan ke dalam tungku pemanasan (*furnace*). Tungku pemanas dihidupkan dan diatur suhu kalsinasinya. Kalsinasi untuk masing-masing katalis dilakukan pada suhu 600, 700, 800 dan 900 °C selama 6 jam. Setelah proses selesai, tungku pemanas dimatikan, lalu dibiarkan hingga mencapai suhu kamar dan sampel dikeluarkan dari tungku pemanas.

## 8. Karakterisasi Zeolit

### a. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui fasa dan untuk menentukan sifat kristal atau kristalinitas dari sampel. Langkah – langkah yang dilakukan dalam analisis menggunakan XRD adalah sebagai berikut :

1. Sampel disiapkan dan direkatkan pada kaca, kemudian dipasang pada tempatnya yang berupa lempeng tipis berbentuk persegi panjang (sampel *holder*) dengan bantuan lilin perekat.
2. Sampel yang disimpan dipasang pada sampel *holder* kemudian diletakan pada sampel *stand* di bagian goniometer.
3. Parameter pengukuran dimasukan pada *software* melalui komputer pengontrol meliputi penentuan *scan mode*, penentuan rentang sudut,

kecepatan *scan* cuplikan, member nama cuplikan dan memberi nomer urut file data.

4. Alat difraktometer dioperasikan dengan perintah “*start*” pada menu komputer, dimana sinar-X akan meradiasi sampel yang terpancar dari target Cu dengan panjang gelombang 1,5406 Å.
5. Hasil difraksi dapat dilihat pada komputer dan intensitas difraksi pada sudut  $2\theta$  tertentu dan dapat dicetak oleh mesin printer.
6. Sampel dari sampel *holder* diambil setelah pengukuran cuplikan selesai.

#### **b. *Scanning Electron Microscopy (SEM)***

Analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)* digunakan untuk memberikan informasi tentang morfologi permukaan sampel. Adapun langkah – langkah dalam uji SEM ini adalah sebagai berikut :

1. Sampel disiapkan dan direkatkan pada mesin *holder (Dolite, double sticy tape)*.
2. Sampel yang telah dipasang pada *holder* kemudian dibersihkan dengan *Hand Blower*.
3. Sampel dimasukkan dalam mesin *couting* untuk diberi lapisan tipis yang berupa *gold-poladinum* selama 4 menit sehingga menghasilkan lapisan dengan ketebalan 200-400 Å.
4. Sampel dimasukkan ke dalam *Specimen Chamber*.
5. Pengamatan dan pengambilan gambar pada layer SEM dengan mengatur pembesaran yang diinginkan.

6. Penentuan spot untuk analisis pada layer SEM.
7. Pemotretan gambar SEM.

**c. *Particle Size Analyzer (PSA)***

Karakterisasi menggunakan *Particle Size Analyzer (PSA)* untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel dari suatu sampel. PSA merupakan salah satu instrumen nanoteknologi yang menggunakan *Laser Diffraction (LAS)* dalam aplikasinya. Metode ini juga dikenal sebagai *Quasi-Elastic Light Scattering (QELS)*. Alat ini berbasis *Photon Correlation Spectroscopy (PCS)*. PSA menggunakan metode LAS dibagi menjadi 2 metode aplikasi sebagai berikut :

1. Metode basah. Metode ini menggunakan media pendispersi untuk mendispersikan material uji.
2. Metode kering. Metode ini memanfaatkan udara atau aliran udara untuk melarutkan partikel dan membawanya ke *sensing zone*. Metode ini baik digunakan untuk ukuran yang kasar, dimana hubungan antarpartikel lemah dan kemungkinan untuk beraglomerasi kecil.

**d. *X-Ray Fluorescence (XRF)***

Karakterisasi zeolit akan dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)* untuk mengidentifikasi unsur-unsur dalam katalis yang diperoleh secara kuantitatif dan kualitatif. Langkah – langkah dalam uji XRF ini adalah sebagai berikut :

1. Disiapkan sampel yang akan diuji, apakah sampel berbentuk serbuk, cair, atau padatan.
2. Sampel diletakan didalam sampel *holder*. Pastikan bagian bawah sampel *holder* tertutupi seluruhnya oleh sampel karena bagian inilah yang akan ditembaki oleh sinar-.
3. Setelah sampel siap pada sampel *holder*, tutup Lid dan jalankan XRF menggunakan tombol ON.
4. Analisis akan langsung berjalan dengan menggunakan tombol untuk penyinaran sinar-X. Sampel akan dikenai sinar-X untuk beberapa saat.
5. Sinar-X yang mengenai sampel akan diteruskan ke detektor dan selanjutnya dianalisis unsur – unsur yang terkandung dalam sampel/
6. Pemotretan hasil.

**e. *Fourier Transform Infrared (FTIR)***

Analisis *Fourier Transform InfraRed (FTIR)* digunakan untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsi dari sampel. Langkah – langkah yang dilakukan untu uji ini adalah sebagai berikut :

1. Disiapkan sampel yang akan diuji, kemudian diletakan sampel pada sampel *holder* dan ditempatkan pada lintasan sinar alat FTIR.
2. Alat disambungkan pada sumber listrik, lalu komputer dan alat dihidupkan.
3. Dilakukan pengukuran dengan alat FTIR dan grafik yang terbentuk diamati.
4. Data yang dihasilkan disimpan dan dilakukan pembahasan terhadap puncak-puncak yang terbentuk.

5. Komputer dan alat FTIR dimatikan dan dilepas dari sumber arus listriknya.

## 9. Uji Reaksi Perengkahan

Uji perengkahan dilakukan dalam reaktor pirolisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Sebanyak 300 mL minyak kelapa sawit dicampur dengan 10 gram katalis dan diaduk rata. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis dan dilakukan proses pirolisis dengan memanaskan reaktor menggunakan tungku pemanas elektrik, sampai suhu yang ditentukan. Uap yang terbentuk dialirkan dari reaktor ke kondensor. Destilat yang dihasilkan ditampung dalam botol. Percobaan dianggap berakhir jika tidak ada lagi destilat yang menetes dari kondensor.



**Gambar 7.** Reaktor pirolisis

## 10. Karakterisasi *Liquid Fuel*

Karakterisasi *liquid fuel* menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) dilakukan untuk mengidentifikasi komponen-komponen penyusun

sampel dan uji fisik sebagai acuan kelayakan *liquid fuel* adalah densitas, viskositas, dan titik nyala (*flash point*) berdasarkan SNI 7431:2015.

**a. *Flash Point Liquid Fuel***

Alat yang digunakan pada analisis Flash Point adalah Flash Point NPM 220.

Langkah-langkah untuk analisis *flash point* biodiesel adalah sebagai berikut :

1. Alat diletakkan pada tempat yang datar serta dihubungkan dengan arus listrik 220/240 V 50/60 Hz dan dipastikan terhubung dengan gas dan tidak ada kebocoran
2. Alat dibersihkan dan dikeringkan sebelum digunakan
3. Sampel dimasukkan ke dalam cup hingga batas yang telah ditentukan
4. Selanjutnya dipasang stirring flexible dan termometer
5. Api dihidupkan dengan diameter  $\pm 4$  mm
6. Alat dan stirring dihidupkan kemudian temperatur flash point awal pengoperasian diatur sebesar 20 °C
7. Alat dijalankan dengan menekan tombol *up* lalu secara cepat dan dicatat temperatur flash point yang didapat
8. Setelah selesai, alat test/regulator dihentikan dengan menekan tombol *up* dan *turn* secara bersamaan.

**b. Viskositas *Liquid Fuel***

Viskositas diukur dengan menggunakan viskometer Canon Fenske Opaque .

Langkah-langkah untuk analisis viskositas biodiesel adalah sebagai berikut :

1. Viskometer dibersihkan sebelum digunakan
2. Viskometer diisi dengan contoh lalu diletakkan di dalam bak (suhu bak viskometer dinaikkan pada 15-100 °C hingga diperoleh kisaran waktu 30 menit)
3. Pada kondisi viskometer telah mencapai kondisi yang diinginkan maka ketinggian sampel dengan kapiler disesuaikan dengan menggunakan pompa hisap hingga melebihi sedikit garis batas (m)
4. Sampel dibiarkan turun dan dihitung waktu sampai tanda batas (n). Waktu yang diukur adalah waktu minus untuk melewati waktu dari sasaran pertama (m) menuju waktu sasaran kedua (n).



Gambar 9. Viskometer Oswald

Pengukuran dilakukan dua kali. Nilai viskositas kemudian dihitung dengan rumus:

$$\mu = C \times t$$

Keterangan :

$\mu$  : viskositas kinematik ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )

C : konstanta kalibrasi viskometer ( $\text{mm}^2/\text{s}^2$ )

T : waktu alir sampel dari batas atas ke batas bawah (s)

### c. Densitas *Liquid fuel*

Penentuan densitas dilakukan berdasarkan prinsip kerja yaitu perbandingan massa sampel tanpa udara pada suhu dan volume tertentu dengan massa air pada suhu dan volume yang sama. Langkah-langkah untuk analisis intensitas *liquid fuel* adalah sebagai berikut :

1. Piknometer kosong dikeringkan di dalam oven kemudian ditimbang terlebih dahulu
2. Lalu piknometer diisi dengan akuades suhu  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  kemudian disimpan dalam *water bath* pada suhu  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit
3. Piknometer kemudian diangkat, dikeringkan, dan ditimbang (berat akuades diperoleh dari selisih berat piknometer berisi akuades dan berat piknometer kosong)
4. Pada tahap selanjutnya sampel minyak didinginkan sampai suhu  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
5. Kemudian minyak dimasukkan ke dalam piknometer yang sebelumnya telah dibersihkan dan dikeringkan hingga meluap dan tidak terbentuk gelembung udara
6. Bagian luar piknometer dikeringkan dan piknometer ditempatkan di dalam *water bath* pada suhu konstan  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit.

7. Piknometer diangkat dari water bath lalu dikeringkan, dan ditimbang (berat sampel diperoleh dengan menghitung selisih berat piknometer berisi sampel dan berat piknometer kosong)

Densitas dihitung dengan rumus :

$$\text{Densitas} = \frac{W_1}{W_2} \times \rho_{\text{air}}$$

Keterangan :

$W_1$  : berat sampel (g)

$W_2$  : berat akuades (g)

$\rho_{\text{air}}$  : densitas air (g/mL)

#### **d. Gas-Chromathography-Mass Spectroscopy (GC-MS)**

Produk yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi minyak nabati dianalisis dengan menggunakan *Gas Chromathography-Mass Spectroscopy* (GC-MS). Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi komponen dalam produk, dan secara khusus untuk melihat apakah semua trigliserida yang terdapat dalam minyak nabati mampu diubah menjadi monoester. Langkah-langkah penggunaan GC-MS sebagai berikut :

1. Transformator/power supply dinyalakan, kemudian tombol “on” ditekan pada alat GC-MS, berturut-turut untuk power pada Ion Gauge (I.G.), MS, dan GC. Gas He dialirkan, dan dihidupkan pula komputer, monitor, dan printer.
2. Dipilih menu Class-5000, klik vacuum control, dan auto start up dijalankan.
3. GC-MS monitor diaktifkan, set temperatur injector, kolom, dan detector. Kemudian ditunggu hingga tekanan vakum di bawah 5 kPa.

4. Tuning diaktifkan, diklik auto tune, load method yang akan digunakan, kemudian diklik start dan ditunggu beberapa saat sampai hasilnya diprint-out, setelah selesai diklik close tuning
5. Method development diaktifkan, set GC parameter, set MS parameter, save method yang telah dideskripsikan, kemudian diklik exit.
6. Real Time Analysis diaktifkan, dipilih single sample parameter, kemudian diisi dengan deskripsi yang diinginkan
7. Dilakukan Send Parameter. ditunggu sampai GC dan MS ready, kemudian dilakukan injeksi sampel.
8. ditunggu sampai analisa selesai
9. Post Run Analysis diaktifkan, kemudian dipilih Browser untuk analisis sampel secara kualitatif.
10. Dilakukan pengaturan peak top comment (peak label), dan reintegrasi Load file yang dianalisa. Kemudian dipilih display spectrum search pada peak tertentu dan dilakukan report pada bagian yang diinginkan.

Untuk mengakhiri, temperatur injektor, kolom, dan detektor pada GC-MS monitor didinginkan sampai temperatur ruangan (30 °C). Bila sudah tercapai, *vakum control* diklik dan dilakukan *auto shut down*. Perangkat alat dimatikan dengan urutan : komputer, GC, MS, IG, dan gas He.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil uji reaksi pirolisis minyak kelapa sawit menunjukkan bahwa  $Zeo_{6:1}$ ,  $Zeo_{6:2}$ , dan  $Zeo_{6:3}$  yang dikalsinasi pada suhu  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  memiliki aktivitas katalitik.
2. Hasil analisis GC-MS menunjukkan bahwa *liquid fuel* dengan kandungan hidrokarbon tertinggi diperoleh dari pirolisis minyak kelapa sawit menggunakan katalis  $Zeo_{6:3}$  yang dikalsinasi pada suhu  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  yakni sebesar 89,22 %.
3. Karakterisasi fisik biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015 menunjukkan *liquid fuel* hasil pirolisis minyak kelapa sawit untuk viskositas telah memenuhi standar sedangkan densitas dan titik nyala belum memenuhi standar .
4. Hasil analisis menggunakan XRF menyatakan bahwa katalis  $Zeo_{6:3}$  terdiri dari unsur Na, Al, dan Si dan diperoleh nisbah Si/Al sebesar 2,314, sehingga zeolit sintetis  $Zeo_{6:3}$  masuk ke dalam kelompok zeolit dengan kadar silika sedang.
5. Hasil analisis XRD menggambarkan bahwa katalis  $Zeo_{6:3}$  suhu kalsinasi 600, 700, dan  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  masih didominasi fasa amorf, sedangkan pada suhu  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  fasa amorf telah berkurang dan didominasi oleh fasa kristalin.

6. Hasil karakterisasi katalis menggunakan SEM menunjukkan bahwa katalis merupakan bahan berpori dengan morfologi permukaan yang heterogen dalam bentuk, ukuran, dan penyebaran pada permukaan.
7. Hasil karakterisasi katalis dengan PSA menunjukkan Zeo<sub>6:3</sub> yang dikalsinasi pada suhu 600, 700, 800, dan 900 °C mempunyai rentang diameter 194,2 – 786,9, 69,62 – 161,2, 17,8 – 133,7 dan 39,78 – 161,2 dengan persen relatif 35, 33,8, 33, dan 31 %.
8. Dari hasil metode gravimetri diperoleh bahwa Zeo<sub>6:3</sub> suhu kalsinasi 600, 700, 800, dan 900 °C memiliki jumlah situs asam sebesar  $49,82 \times 10^{-2}$ ,  $8,09 \times 10^{-2}$ ,  $9,09 \times 10^{-2}$  dan  $10,25 \times 10^{-2}$  mmol/gr.
9. Karakterisasi dengan FTIR menunjukkan bahwa keempat katalis tersebut memiliki jenis situs asam Brønsted-Lowry di mana gugus O-H berikatan hidrogen dengan basa piridin.

## B. Saran

Dari penjelasan yang sudah dipaparkan, terdapat beberapa saran untuk kelanjutan penelitian ini, diantaranya adalah :

1. Disarankan untuk meningkatkan kualitas *liquid fuel*, khususnya densitas dan titik nyala dengan menghilangkan senyawa – senyawa yang terdapat pada *liquid fuel* selain hidrokarbon.
2. Disarankan untuk melakukan pengujian cetana number untuk mengetahui kelayakan *liquid fuel* sebagai bahan bakar.
3. Disarankan untuk melakukan perlakuan tambahan untuk mengoptimalkan pembentukan struktur zeolit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F., S. Balakrishnan, and P. Wong. 2006. Rice Husk Ash Silica as a Support Material for Ruthenium Based Heterogenous Catalyst. *Journal of Physical Science*, 17 (2), pp. 1–13.
- Agung, G.F., M.R. Hanafie, dan P. Mardina. 2013. Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi dengan Pelarut KOH. *Jurnal Konversi*. 2 (1), hlm. 28-30.
- Anshary, M.A., O.Damayanti, dan A.Roesyadi. 2012. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis Padat Berpromotor Ganda dalam Reaktor Fixed Bed. *Jurnal Teknik POMITS* Vol. 1, No. 1, (2012) 1-4.
- Aristiani, V. 2016. Preparasi Katalis  $CaO/SiO_2$  dari  $CaCO_3$  dan Silika Sekam Padi dengan Metode Sol Gel Untuk Pengolahan Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. hlm. 1-62.
- Arnata, I. W, M.A.A, dan D.Anggraeni. 2013. Rekayasa Bioproses Produksi Bioetanol dari Ubi Kayu Dengan Teknik Ko-Kultur Ragi Tape dan *Saccaromycess Cerevisiae*. *Agrointek*, 7, 1, :21-28.
- Auda, H. Y. 2009. *Spektroskopi Difraksi Sinar-X (X-ray Diffraction/XRD)*. Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Ayyad, O.D. 2011 . *Novel Strategies The Synthesis of Metal Nanoparticle and Nanostructure*. (Thesis). Univesitat de Barcelona. Barcelona. pp.48-49.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Lampung. 2014. *Luas Areal Tanaman Kelapa Sawit Perkebunan Rakyat Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Lampung 2015 (Hektar)*. <http://lampung.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/328>. Diakses pada 18 Januari 2016.
- Balat, M., M. Balat, E. Kirtay, and H. Balat. 2009. Main Routes for The Thermo-Conversion of Biomass Into Fuels and Chemicals Part 1: Pyrolysis Systems. *Energy Conversion and Management*. 50, pp. 3147-3157.
- Barrault, J., Y. Pouilloux, J. M. Clacens, C. Vanhove, and S. Bancquart. 2002. Catalysis and Fine Chemistry. *Catalysis Today* . 75, pp. 177–181.
- Lawrence, J. 1984. *Electroplating Engineering Handbook, 4<sup>th</sup> Edition*. Van Nostrand Reinhold Company. New York.

- Bekku H.V., E.M. Flanigen, J.C. Jansen. 1991. *Introduction to Zeolite Science and Practice: Studies in Surface Science and Catalysis*, Vol. 58. Elsevier. Amsterdam. pp. 153-173.
- Bridgwater, T. 2007. *Pyrolysis of Biomass*. IEA Bioenergy. Birmingham, UK. pp. 1-20.
- Bridgwater, A.V., and G.V.C. Peacock. 2000. Fast Pyrolysis Processes of Biomass. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 4, pp. 1-73.
- Bridgwater, A.V., S. Czernik, and J. Piskorz. 2001. An Overview of Fast Pyrolysis. *Program Thermochemical Biomass Conversion*. 2, pp. 977-997.
- Cao, G., J. Platisa, V.A. Pieribone, D. Raccuglia, M. Kunst, and M.N. Nitabach. 2013. Genetically Targeted Optical Electrophysiology in Intact Neural Circuits. *Cell*. 154 (4), pp. 904-911.
- Chang R. 2010. *Kimia Dasar; Konsep Konsep Inti, Edisi Tiga, Jilid 2*. General Chemistry; The Essential Concepts, Third Edition, Boston: Mc Graw Hill. Terjemahan: Suminar Setiadi Achmadi, Ph.D., 2004. Erlangga. Jakarta. Hal. 219.
- Chhiti, Y., and M. Kemiha. 2013. Thermal Conversion of Biomass, Pyrolysis and Gasification: A Review. *The International Journal of Engineering and Science*. 2 (3), pp.75-85.
- Cornelissen, T., Y. Yperman, G. Reggers, S. Schreurs, R. Carleer. 2008. Flash Co-Pyrolysis of Biomass with Polylactic Acid. Part 1: Influence on Bio-Oil Yield and Heating Value. *Fuel*. 87, pp. 1031-1041.
- Cresswell, C.J., A.O. Runquist, Campbell, dan M. Malcom. 1982. Analisis Spektrum Senyawa Organik Edisi ke-2. ITB Press. Bandung. hlm. 120-145.
- Daifullah, A. A. M., Girgis, B. S., Gad, H. M. H. 2003. Utilization of Agroresidue (Rice Husk) in Small Waste Treatment Plans Material Letters. 55.1723-1731.
- Danarto, Y.C., A. Nur, D.P.Setiawan,dan N.D.Kuncoro. 2010. Pengaruh Waktu Operasi Terhadap Karakteristik Char Hasil Pirolisis Sekam Padi Sebagai Bahan Pembuatan Nano Struktur Supermikroporous Carbon. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. Yogyakarta. Hal. 1-2.
- Darmanto,S dan I.Sigit.2006. Analisa Biodiesel Minyak Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif Minyak Diesel. *Traksi*. 4 (2), hlm. 1-8.
- Demirbas, A. 2000. Conversion of Biomass Using Glycerine to Liquid Fuel for Blending Gasoline as Alternative Engine Fuel. *Energy Conversion and Management*. 41, pp. 1741-1748.
- Demirbas, A. 2002. Partly chemical analysis of liquid fraction of flash pyrolysis products from biomass in the presence of sodium carbonate. *Energy Conversion and Management*. 43, pp. 1801-1809.

- Dirdianti. 2011. *Pabrik Aluminium Florida dari Aluminium Hidroksida dan Asam Fluosilika dengan Proses Basah*. (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh November. hlm. 2-6.
- Kementrian Pertanian. 2014. *Statistika Perkebunan Indonesia 2013 – 2015*. Direktorat Jendral Perkebunan. Jakarta. Hlm 11.
- Dyah, P. S. 2011. Produksi Biodiesel dari Mikroalga *Chlorella sp* dengan Metode Esterifikasi In-Situ. (Tesis). Universitas Diponegoro. Jawa Tengah. hlm. 42-45.
- Fadilah, U. 2015. Pengolahan Kaleng Aluminium Bekas Menjadi Aluminosilikat Berbasis Silika Sekam Padi Dengan Metode Elektrokimia Sebagai Katalis Transesterifikasi Minyak Biji Karet. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. hlm. 1-58.
- Georgiev, D., B. Bogdanov, K. Angelova, I. Markovska, and Y. Hristov. 2009. Synthetic Zeolites - Structure, Clasification, Current Trends In Zeolite Synthesis Review. *Technical Studies*. 7, pp. 1-5.
- Gharlbeh, M., G. Tompsett, F. Lu, S.M. Auerbach, K.S. Yngvesson, and W.C. Conner. 2004. Temperature Distribution within Zeolite Precusors Solutions in The Presence ofMicrowaves.*Journal of Physical Chemistry*.113, pp. 12506-12520.
- Haag, W.O. 1984. *Heterogeneous Catalysis*. Texas A&M University Press. Texas. p. 93.
- Hananto, F.S., D.R. Santoso, and Julius. 2011. Application of Piezoelectric Material Film PVDF (Polyvenylidene Flouride) as Liquid Viscosity Sensor. *Journal of Neutrino*. 3 (2), pp. 129-142.
- Hardjono, S. 1990. *Spektroskopi Inframerah*. Liberti. Yogyakarta. hlm. 1-146.
- Harsono H. 2002. Pembuatansilika amorf dari limbah abu sekam padi. Fakultas MIPA Universitas Brawijaya. *Jurnal Ilmu Dasar*. 3(2): 98-103.
- Holt, G.W. Barton, M. Wark, and C.A. Mitchell. 2002. A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation. *Colloids Surf., A*. 211: 233–248.
- Integrated Taxonomic Information System.2011. *Elaeis guineensis J*. [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=28393#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=28393#null). Diakses pada 18 Mei 2016.
- Jahirul, M., M.G. Rasul, A.A. Chowdhury, and N. Ashwath. 2012. Biofuels Production through Biomass Pyrolysis-A Technological Review. *Energies*. 5, pp. 4952-5001.
- Jung, S., B. Kang, and J. Kim. 2008. Production of Bio-Oil from Rice Straw and Bamboo Sawdust Under Various Reaction Condition in a Fast Pyrolysis Plant Equipped with a Fluidized Bed and a Char separation System. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 82, pp. 240-247.
- Kalapathy, U., Proctor, A and schultz. J, 2000. A Simple Method for Production of Pure Silika from Rice Husk Ash. *Bioresource Technology*.73 (3), pp 25 –262.

- Ketaren, S. 1986. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. Cetakan Pertama. Universitas Indonesia Press. Jakarta. Hlm 1-57.
- Kriswarini R., D. Anggraini, dan Noviardy. 2010. Validasi Metoda Pengukuran Isotop  $^{137}\text{Cs}$  Menggunakan Spektrometer Gamma. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN. Hlm. 328-333.
- Leofanti, G., G. Tozzola, M. Padovan, G. Petrini, S. Bordiga, and , A. Zecchina. 1997. Catalitic. Today. 34, 329-352.
- Lestari, D.Y. 2010. Kajian modifikasi dan karakterisasi zeolit alam dari berbagai Negara. *Prosiding seminar nasional Kimia dan Pendidikan Kimia Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*.
- Leivo, J. M.Linden, C.V. Teixeira, J. Puputti, J. Ronselholm, E. Levanen and T. A. Mantyla. 2006. Sol-gel Synthesis of a Nanoparticulate Aluminosilicate Precursor of Homogeneous Mullite Ceramics. *Journal Material. Research*. **21** (5), 1280-1285
- Li. Y., and W. Yang. 2008. Microwave Synthesis of Zeolite Membranes: A Review. *Journal of Membrane Science*. 316, pp. 1-15.
- Marlina, L.I., Sriyanti., F. Iskandar, dan Kharurizal. 2012. Pengaruh Komposisi Sekam Padi dan Nano Silika Terhadap Kuat Tekan Material Nanokomposit. *Jurnal Penelitian Sains*. 15, hlm. 3.
- McLafferty. 1988. Interpretasi Spektra Massa. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 45, pp. 14-30.
- Meliyana, L. 2015. Preparasi katalis  $\text{CaO/SiO}_2$  dari  $\text{CaCO}_3$  dan silika sekam padi dengan metode sol gel untuk pengolahan minyak nabati menjadi biodiesel. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hal. 43-44.
- Mustofa K., D., dkk. (2013). Polytech: Conversion Machine of Plastik Into Oil Fuel With Continuous System And Reservoir Wet-Steam Oil With 20 Kg Capacities. Proceedings of AISC Taiwan 2013. ISSN:2337-442X ISSN:2337-442X.
- Nasikin. M. dan A. Makhdianti. 2003. Sintesis Metil Ester Sebagai Aditif Bahan Bakar Solar dari Minyak Sawit. *Jurnal Teknologi*. 1, pp. 45-50.
- Newalkar, G., K. Lisa, A.D. Amico, C. Sievers, and P. Agrawal. 2014. Effect of Temperature, Pressure, and Residence Time on Pyrolysis of Pine in an Entrained Flow Reactor. *American Chemical Society*. 28, pp. 5144-5157
- Oladeji, J.T. 2012. Pyrolytic Conversion of Poultry Litter into Medium-Grade Biomass Fuel. *New York Science Journal*. 5 (8), pp.18-21.
- Oladeji, J.T., R.A. Itabiyi, and P.O. Okekunle. 2015. A Comprehensive Review of Biomass Pyrolysis as a Process of Renewable Energy Generation. *Journal of Natural Sciences Research*. 5 (5), pp. 99-105. Padil dkk, 2010

- Pandiangan, K.D., W. Simanjuntak., I. G. Suka, dan J. Novesar. 2009. Metode ekstraksi silika dari sekam padi. *Lembaga Penelitian Universitas Lampung*. Bandar Lampung. P00200900776.
- Pattiya, A., J. O. Titiloye, A.V. Bridgwater. 2008. Fast Pyrolysis of Cassava Rhizome in The Presence of Catalysts. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 81, pp. 72-79.
- Platon A., and J.W. Thomson. 2003. Quantitative Lewis/ Brønsted Ratios using DRIFTS. *Applied Catalysis Industrial Engineering Chemistry Research*. 42, pp. 5988-5992
- Prastyo, S.H., Y.Y. Margaretha, A. Ayucitra, dan S. Ismadji. 2011. Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dengan Menggunakan Katalis Padat dari Cangkang Keong Emas (*pomacea sp.*) *ITS-Paper Seminar Nasional Fundamental Dan Aplikasi Teknik Kimia*
- Pratiwi, Endah. 2015. Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Buah Ketapang Dengan Metode Reactive Extrction. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. hlm. 1-57.
- Rengel, A. 2007. *Study of Lignocellulosic Biomass Pyrolysis: State of the Art and Modelling*. (Thesis). KTH Royal Institute of Technology. Stockholim. pp. 9-28.
- Rodiansono, W., Trisunaryati, dan Triyono. 2007. Pembuatan, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis NiMo/Z dan NiMo/Z-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pada Reaksi Hidrogen Langkah Fraksi Sampah Plastik Menjadi Fraksi Bensin. *Berkala MIPA*. 17:44-45.
- Richardson, J.T. 1989. *Principles of Catalyst Development*. Plenum Press. New York. pp. 586-589.
- Sa'diah, Halihtun. 2009. Pengaruh Proses Pengepresan (Screw Press) Terhadap Presentase Kehilangan Minyak Kelapa Sawit Yang Terdapat Pada Ampas Press Di PT. Socfin Indonesia Kebun Aek Loba. (Skripsi). Universitas Sumatera Utara. Medan. hlm 1-30.
- Samsuri, M., M. Gozan., R. Mardias, M. Baiquni, H. Hermansyah, dan A. Wijanarko. 2007. Pemanfaatan Sellulosa Bagas untuk Produksi Ethanol Melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak dengan Enzim Xylanase. *Makara Teknologi*. 11 (1), pp. 17-24.
- Saroinsong, J.P. 2015. Pembuatan Silika dari Sekam Padi dengan Metoda Sol Gel Menggunakan Asap Cair Sebagai Pengganti Asam Mineral dan Aplikasinya Sebagai Katalis Heterogen. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. hlm. 1-64.
- Sembiring S., P. Manurung, dan P. Karo-Karo. 2009. *Pengaruh Suhu Tinggi terhadap Karakteristik Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi*. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Universitas Lampung. 5 (1), pp 1-4.
- Sembiring, S. 2011. Synthesis and Characterisation of Rice Silica Based Borosilicates (B<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) Ceramic by Sol-Gel Routes. *Indonesian Journal of Chemistry*. 11 (1), pp. 85-89.

- Sembiring, S., W. Simanjuntak, P. Manurung, D. Asmi, and M.I. Low. 2014. Synthesis and Characterisation of Gel-Derived Mullite Precursor from Rice Husk Silica. *Ceramic International*. 40, pp. 7067-7072
- Silberberg, M.S. 2007. *Principles Of General Chemistry*. Mc. Graw Hill. Companies inc. New York. pp.1-40.
- Simanjuntak, W. and S. Sembiring. 2016. The Use of Liquid Smoke as a Substitute for Nitric Acid for Extraction of Amorphous silica from Rice husk through Sol-Gel Route. *Oriental Journal of Chemistry*. 32 (4), pp. 1-7.
- Shinohara, Y. and N. Kohyama. 2004. Quantitative Analysis of Tridymite and Cristobalite Crystallized in Rice Husk Ash by Heating. *Industrial Health*. 42. 277-285.
- Subagjo. 1993. Zeolit: Struktur dan Sifat-Sifat. *Warta Insinyur Kimia* 3, 7.
- Subasri R. 2001. Low Temperature Synthesis of Sodium Aluminosilicate Glass-NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. *Materials Science and Engineering*. B86, 260-264.
- Suka, I. G., W. Simanjuntak, S. Sembiring, dan E. Trisnawati. 2008. Karakteristik Silika Sekam Padi Dari Provinsi Lampung yang Diperoleh Dengan Metode Ekstraksi. *Jurnal Sains MIPA*. 37 (1), pp. 47-52.
- Suka, I.G., A. Riyanto, dan S. Sembiring. 2009. Karakteristik Fungsionalitas Borosilikat Berbasis Sekam Padi Akibat Pengaruh Kalsinasi. *Prosiding SN SMAP 09*.
- Sukumar, V., V. Manienyan, and S. Sivaprakasam. 2015. Bio Oil Production from Biomass using Pyrolysis and Upgrading - A Review. *International Journal of ChemTech Research*. 8 (1), pp.196-206.
- Sundaram, E.G. and E. Natarajam. 2009. Pyrolysis of Coconut Shell: An Experimental Investigation. *The Journal of Engineering Research*. 2 (2), pp. 33-39.
- Susanti, Laela. 2015. Pengembangan Zeolit Sintetik Berbasis Silika Sekam Padi Secara Elektrokimia Sebagai Katalis Untuk Pengolahan Minyak Nabati Menjadi Biodiesel. (Tesis). Universitas Lampung. Bandar Lampung. hlm 1-110.
- Swaddle. 2001. Silicate complexes of aluminum (III) in aqueous systems. *Coordination Chem. Review*. 219: 665-686.
- Tanabe, K. 1981. Solid Acid and Base Catalyst in Catalysis Science and Technology. Springer-Link. Berlin. pp. 231-273.
- Tippayawong, N., J. Kinorn, and S. Thavornun. 2008. Yields and Gaseous Composition from Slow Pyrolysis of Refuse-Derived Fuels. *Energy Source Part A*. 30, pp. 1572-1578.
- Tomiyama, S., R. Takahashi, S. Sato, T. Sodesawa, and S. Yoshida. 2003. Preparation of Ni/SiO<sub>2</sub> Catalyst with High Thermal Stability for CO<sub>2</sub> reforming of CH<sub>4</sub>. *Journal of Applied Catalyst A: General*. 241, pp. 349-361.

- Uzun, B. B., and N. Sarioglu. 2009. Rapid and Catalytic Pyrolysis of Corn Stalks. *Fuel Processing Technology*. 90, pp. 705-716.
- Visiamah, F. 2016. Studi Hidrolisis Umbi Talas Beneng Untuk Menghasilkan Gula Reduksi Sebagai Bahan Baku Bioetanol. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. hlm 1-63.
- Vitolo, S., B. Bresci, M. Seggiani, and G.M. Gallo. 2001. Catalytic Upgrading of Pyrolysis Oils Over HZSM-5 Zeolite: Behaviour of The Catalyst When Used in Repeated Upgrading-Regenerating Cycles. *Fuel*. 80, pp.17-26.
- Wang, L.L., W. Ding, Y.W. Liu, W.P.Fang, and Y.Q. Yang. 2010. Effect of Preparation Methods of Aluminum Emulsions on Catalytic Performance of Copper-Based Catalysts for Methanol Synthesis From Syngas. *Journal of Natural Gas Chemistry*. 19 (5), pp. 487-492.
- Wardan, S. dan A. Zainal. 2003. *Bahan Bakar dan Pelumas*. Fakultas Teknik UNY. Yogyakarta. hlm. 56
- Wijanarko, A., D.A. Mawardi dan M. Nasikin. 2006. Produksi Biogasoline dari Minyak Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik dengan Katalis  $\gamma$ -Alumina. *Makara Teknologi*. 10 (2), pp. 51-60.
- Wina, E., I.W.R.Susan. dan T.Pasaribu. 2008. Pemanfaatan Bungkil Jarak Pagar (*Jatropha curcas*) dan Kendalanya Sebagai Bahan Pakan Ternak. 18(1), hlm 1-8.
- Wolfovich, M.A., M.V. Landau, A. Brenner, and M. Herskowitz. 2004. Ind. Eng. Chemistry Resource. 43: 5089-5097.
- Wustoni, S., R. Mukti, A. Wahyudi, dan Ismunandar. 2011. Sintesis Zeolit Mordenit dengan Bantuan Benih Mineral Alam Indonesia. *Jurnal Matematika dan Sains*.16.
- Xiujuan, G., W. Shurong, W. Qi, G. Zuagang, and L. Zhogyang. 2011. Properties of Bio-Oil from Fast Pyrolysis of Rice Husk. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 19 (1), pp. 116-121.
- Zanzi, R., K. Sjostrom, and E. Bjornbom. 2002, Rapid Pyrolysis of Agricultural Residues at High Temperature. *Biomass and Bio-Energy*. 23, pp. 357-366.