

**PENGOLAHAN CAMPURAN BAGAS TEBU DAN MINYAK BIJI KARET  
MENJADI *LIQUID* FUEL SECARA PIROLISIS MENGGUNAKAN  
ZEOLIT SINTETIK SEBAGAI KATALIS**

**(TESIS)**

**Oleh**

**FARADILLA SYANI**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2017**

## **ABSTRACT**

### **MIXTURE PROCESSING OF SUGARCANE BAGASSE AND RUBBER SEED OIL INTO LIQUID FUEL USING PYROLYSIS WITH SYNTHETIC ZEOLITE AS CATALYST**

**By**

**FARADILLA SYANI**

In this research, a mixture of sugarcane bagasse and rubber seed oil was pyrolysed in the presence of synthetic zeolites with different Si/Al ratios as catalyst. The zeolites were prepared using electrochemical method with varied potentials of 6, 8, 10, and 12 volts and electrolysis time of 1, 2, and 3 hours, then calcined at 600 °C and 700-900 °C for zeolites having the highest catalytic activity. The results showed that the best liquid fuel, with hydrocarbon content 85.58%, was obtained using the catalyst prepared with the potential of 6 volts and 3 hours electrolysis time (ZeO<sub>6:3</sub>), calcined at 600 °C. XRD analysis shows that this particular zeolite composed of mainly amorphous phase, and according to PSA analysis the particle size is around 372,2 µm.

**Keywords:** sugarcane bagasse, electrochemical method, rubber seed oil, liquid fuel, pyrolysis, synthetic zeolite

## ABSTRAK

### **PENGOLAHAN CAMPURAN BAGAS TEBU DAN MINYAK BIJI KARET MENJADI *LIQUID FUEL* SECARA PIROLISIS MENGGUNAKAN ZEOLIT SINTETIK SEBAGAI KATALIS**

Oleh

**FARADILLA SYANI**

Dalam penelitian telah dilakukan pengolahan campuran bagas tebu dan minyak biji karet secara pirolisis menggunakan zeolit sintetis dengan rasio Si/Al yang berbeda sebagai katalis. Zeolit yang dihasilkan dibuat dengan menggunakan metode elektrokimia dengan variasi potensial 6, 8, 10, dan 12 volt dan waktu elektrolisis 1, 2, dan 3 jam, selanjutnya dikalsinasi pada suhu 600 °C dan 700-900 °C untuk zeolit yang memiliki aktivitas katalitik yang terbaik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *liquid fuel* terbaik memiliki kandungan hidrokarbon sebesar 85,58% yang dihasilkan menggunakan katalis yang dibuat dengan potensial 6 volt dan waktu elektrolisis 3 jam (Zeo<sub>6:3</sub>) yang dikalsinasi pada suhu 600 °C. Analisis XRD menunjukkan zeolit terdiri dari fasa amorf dan analisis PSA menunjukkan ukuran partikel 372,2 µm.

Kata kunci : bagas tebu, metode elektrokimia, minyak biji karet, *liquid fuel* pirolisis, zeolit sintetis

**PENGOLAHAN CAMPURAN BAGAS TEBU DAN  
MINYAK BIJI KARET MENJADI *LIQUID FUEL*  
SECARA PIROLISIS MENGGUNAKAN  
ZEOLIT SINTETIK SEBAGAI  
KATALIS**

**Oleh**

**FARADILLA SYANI**

**Tesis**

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar

**MAGISTER SAINS**

**Pada**

Program Studi Magister Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Lampung



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**



Judul Tesis

: **PENGOLAHAN CAMPURAN BAGAS TEBU DAN  
MINYAK BIJI KARET MENJADI *LIQUID FUEL*  
SECARA PIROLISIS MENGGUNAKAN ZEOLIT  
SINTETIK SEBAGAI KATALIS**

Nama Mahasiswa

: **Faradilla Syani**

No. Pokok Mahasiswa : 1527011006

Program Studi

: **Magister Kimia**

Jurusan

: **Kimia**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

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

  
**Prof. Simon Sembiring, Ph.D.**  
NIP. 19611003 199103 1 002

**MENGETAHUI**

2. Ketua Program Studi Magister Kimia

  
**Dr. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc.**  
NIP. 19600616 198811 1 001



**MENGESAHKAN**

1. **Tim Penguji**

Ketua

: **Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.**

Sekretaris

: **Prof. Simon Sembiring, Ph.D.**

Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc.**

: **Prof. Sutopo Hadi, M.Sc., Ph.D.**

: **Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D.**

NIP. 19710212 199512 1 001

3. **Direktor Program Pascasarjana**

**Prof. Dr. Sudjarwo, M.S.**

NIP. 19530528 198103 1 002

**Tanggal Lulus Ujian Tesis : 2 Agustus 2017**



## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Tesis dengan judul “Pengolahan Campuran Bagas Tebu dan Minyak Biji Karet Menjadi *Liquid Fuel* Secara Pirolisis Menggunakan Zeolit Sintetik Sebagai Katalis” adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiatisme.
2. Hal intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya; saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Agustus 2017  
Pembuat Pernyataan,



Faradilla Syani  
NPM. 1527011006

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Bukit Tinggi, 21 November 1992 sebagai anak pertama dari empat bersaudara, terlahir dari pasangan Bapak Syaiful Anwar dan Ibu Refniatis. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 1 Gotong Royong Bandar Lampung dan menyelesaikannya tahun 2004, pendidikan tingkat menengah hingga tahun 2007 di SMP Negeri 9 Bandar Lampung. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMTI Tanjung Karang Bandar Lampung dan menyelesaikannya tahun 2010. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan berhasil menyelesaikan S1 pada tahun 2014. Pada tahun 2015 diterima di Program Studi Magister Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Selama menempuh pendidikan di kampus, penulis pernah menjadi Juara 2 Umum Lomba Inovasi Teknologi Balitbangnovda Lampung tahun 2015, 15 besar Lomba Inovasi Teknologi Balitbangnovda Lampung tahun 2016. Penulis juga membimbing adik-adik kelompok SP jurusan Kimia untuk ikut Science Project Se-Asia OSN Pertamina 2015-2016 dan berhasil melangkah ke babak final selama



2 tahun berturut-turut. Pemateri pada acara pelatihan PKM (Program Kreativitas Mahasiswa) Himaki dan Himatika FMIPA Unila serta UKM Penelitian Unila dan Pemateri pada Kajian Ilmiah Himaki tahun 2016 dan Penulis juga pernah menjadi Juri Essay Mahasiswa GEMPITA Himasakta FKIP Unila tahun 2017. Penulis juga menjadi pembina KIR, Olimpiade dan tenaga pendidik (guru) di SMK-SMTI Bandar Lampung tahun 2016- sekarang. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Kimia Dasar jurusan Kimia tahun 2016-2017, praktikum Sains Dasar jurusan kimia dan fisika FMIPA Unila tahun 2015, praktikum Kimia Dasar jurusan Teknologi Hasil Pertanian (THP), Agroteknologi (AGT), Agronomi, dan Teknik Geofisika tahun 2016.

*Puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan Karunia-Nya,  
sehingga terciptalah sebuah karya tulisku yang  
kupersembahkan untuk;*

*Papa dan Mama tercinta yang telah mendidik dan membesarkanku  
atas segala Do'a, kesabaran, keikhlasan, limpahan kasih sayang,  
nasehat dan motivasi yang selalu menguatkan dan mendukung dalam  
setiap derap langkahku menuju kesuksesan dan kebahagiaan.*

*Adinda Robin, Khasandra dan Laras Oktaviani atas doa dan  
dukungnya untuk kakak.*

*Keluarga besar yang selalu mendoakan kesuksesan dan  
keberhasilanku*

*Sahabat-sahabatku M. Chairuddin, Chintia Yolanda dan  
Hadin Zubardi yang selalu memberikan dukungan, do'a dan  
motivasi.*

*Seluruh rekan-rekan saudara-saudariku keluarga besar  
Magister Kimia 2015 yang selalu berbagi kebahagiaan serta  
almamaterku yang kebanggakan, Universitas Lampung*

# Motto

*Jika ingin berhasil maka lakukanlah segala sesuatu  
dengan penuh keikhlasan*

*“Allah tiada membebani seseorang melainkan sesuai  
dengan kesanggupannya” (Q.3 Albaqarah; 286)*

**“Sesungguhnya para Nabi tidak mewariskan dinar  
dan dirgham, mereka hanyalah mewariskan Ilmu.  
Barangsiapa yang mengambilnya, maka dia telah  
memperoleh keberuntungan yang banyak”  
(HR. Abu Daud, Tirmidzi)**



## SANWACANA

Segala Puji bagi Allah, *Rabb* semesta alam atas nikmat-Nya yang tak terhingga, kasih sayang-Nya yang tak terbilang, serta nikmat persaudaraan yang senantiasa terjaga hingga hari ini sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Pengolahan Campuran Bagas Tebu dan Minyak Biji Karet Menjadi *Liquid Fuel* Secara Pirolisis Menggunakan Zeolit Sintetik Sebagai Katalis” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains di Universitas Lampung.

Shalawat teriring salam semoga tersampaikan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat serta umatnya yang tetap *istiqomah* dalam menjalankan *sunnah-sunnahnya* dan *syariat-syariat* islam, semoga kita juga termasuk umatnya yang mendapatkan *syafa'at* beliau nanti di hari akhir, *Aamiin yarabbal'alam*.

Teriring doa nan tulus *jazaakumullah khairan katsir*, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku Pembimbing I dan pembimbing akademik penulis atas seluruh dedikasi yang beliau berikan selama menempuh pendidikan di kampus, atas semua kesabaran, keikhlasan, bimbingan dan nasihat yang selalu diberikan hingga penelitian dan tesis ini dapat terselesaikan. Semoga Allah membalas kebaikan beliau dengan *baraakah* yang tidak ternilai.

2. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph. D. selaku Pembimbing II yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran, serta bimbingan yang telah diberikan sehingga tesis penulis dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah membalasnya dengan kebaikan.
3. Bapak Rudy T.M. Situmeang, M.Sc. selaku Pembahas dan kaprodi Magister Kimia dalam penelitian penulis atas semua bimbingan, nasihat, dan kesabaran beliau sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
4. Bapak Prof. Sutopo Hadi, Ph.D. selaku Pembahas dalam penelitian penulis atas semua bimbingan, nasihat, dan kesabaran beliau sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
5. Bapak Dr. Agung Abadi K., M.Sc. selaku Pembahas dalam penelitian penulis atas semua bimbingan, nasihat, dan kesabaran beliau sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
6. Bapak Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M. T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung atas seluruh dedikasi dan ilmu yang diberikan selama penulius menempuh perkuliahan. Semoga Allah melimpahkan *baraakah* kepada Bapak dan Ibu.
8. Bapak Prof. Warsito D.E.A., Ph.D. selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Ibu Dr. Kamisah D. Pandingan, M.Si. selalu dosen dan *partner* selama mengerjakan penelitian dan tesis ini. Terima kasih atas semua nasehat, bimbingan dan arahan yang telah diberikan. Semoga Allah membalas kebaikan ibu dengan *baraakah* yang tidak ternilai.

10. Teriring syukur ananda berikan kepada Papa Syaiful Anwar dan Mama Refniatas, atas seluruh cinta, kasih sayang, kesabaran, keikhlasan, doa serta semua dedikasi dalam mendidik ananda, semoga Allah membalas cintanya dengan *jannah*-Nya, *aamiin Allahuma aamiin*.
11. Adinda Robin, Khasandra dan Laras Oktaviani serta keluarga besar, atas semua doa dan kasih sayangnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
12. Teruntuk sahabat terbaikku M. Chairuddin, Chintia Yolanda dan Hadin Zubardi *jazaakumullah khairaan jazaa*, terima kasih untuk persaudaraan yang berdasar atas ukhuwah. Semoga Allah limpahkan kebaikan kepada kita semua.
13. Rekan kerja penelitian Hanif Amrulloh ZA, M.Si. dan Endah Pertiwi, S.Si serta adik-adik satu bimbingan Yudha Ari S, Antonius W, Yunitri, Ruliana, Hemayana, Veronica N, Duma Agustina, dan Gesa P, terima kasih untuk semua kerjasama dan bantuannya.
14. Rekan-rekan Magister Kimia Angkatan 2015 Ibu Emma Hermawati, M.Si., Ibu Annissa M.Si., Ibu Eka Epriawati, M.Si., Ria Yunita, M.Si., Ibu Arum, Ibu Miranti, Ibu Sion, dan Ridho terima kasih untuk persaudaraan, cerita dan kenangan yang dibina selama menempuh pendidikan di kampus.
15. Uni Kidas, Mb Liza, Mas Nomo, Paman Kidas, Mb Tri, Mb Wid dan Pak Gani terima kasih atas seluruh bantuan yang diberikan kepada penulis.
16. Rekan-rekan Bapak dan Ibu guru di SMK-SMTI Bandar Lampung, Bapak Eko Erwanto, Ibu Anjar Arianingrum, Bapak Zayadi, Bapak Hamim Usman, Ibu Aprilia Utami, Bapak Ari Gunawan dan Ibu Sulastri. Terima



kasih atas semua nasihat dan dukungannya kepada penulis. Semoga Allah melimpahkan *baraakah* kepada Bapak dan Ibu.

17. Partner ku di Lab OTK, TUK, Gudang SMK SMTI Bandar Lampung,  
Dian Tanti Ningsih dan Riski Mandewasa terima kasih atas bantuannya selama mengerjakan penelitian.
18. Seluruh keluarga besar Jurusan Kimia Angkatan 2012 – 2016.
19. Almamater tercinta Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan penulisan di masa datang. Semoga bermanfaat.

Bandar Lampung, Agustus 2017  
Penulis

**Faradilla Syani**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
 <b>I. PENDAHULUAN</b> .....	 1
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	5
C. Manfaat Penelitian .....	5
 <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	 6
A. Bahan Bakar Cair ( <i>Liquid Fuel</i> ) ..	6
B. Pirolisis ...	8
C. Potensi Pemanfaatan <i>Liquid Fuel</i> Hasil Pirolisis.....	11
1. Bahan Bakar Boiler.....	11
2. Produksi Listrik.....	11
3. Produksi Gas Sintesis.....	12
4. <i>Steam Reforming</i> .....	12
5. Bahan Bakar Transportasi.....	12
6. Ekstraksi Kimia.....	13
D. Zeolit .....	14
1. Zeolit Alam.....	14
2. Zeolit Sintetik .....	15
E. Ampas Tebu .....	18
F. Minyak Biji Karet.....	19
G. Karakterisasi Zeolit Sintetik .....	20
1. Difraksi Sinar-X ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	20
2. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	24
3. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) .....	26
4. <i>X-Ray Fluoresence</i> (XRF) .....	28
H. Karakterisasi <i>Liquid Fuel</i> .....	29

1. Kromatografi Gas-Spektometri Massa (GC-MS) .....	29
2. Analisis <i>Flash Point Liquid Fuel</i> .....	32
3. Analisis Viskositas <i>Liquid Fuel</i> .....	32
4. Analisis Densitas <i>Liquid Fuel</i> .....	34
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	36
A. Tempat dan Waktu Penelitian ....	36
B. Alat dan Bahan .....	36
1. Alat-alat yang digunakan .....	36
2. Bahan-bahan yang digunakan .....	37
C. Prosedur Penelitian.....	37
1. Preparasi Sekam Padi .....	37
2. Ekstraksi Silika dengan Metode Presipitasi .....	37
3. Pembuatan Sol Silika Sekam Padi .....	38
4. Pembuatan Zeolit dengan Metode Elektrolisis dan <i>Sol-Gel</i> ....	38
5. Kalsinasi Katalis .....	39
6. Preparasi Biji Karet.....	40
7. Ekstraksi Minyak Biji Karet .....	40
8. Preparasi bagas Tebu .....	40
9. Uji Aktivitas Katalis Zeolit Sintetik .....	41
10. Karakterisasi <i>Liquid Fuel</i> .....	41
a. Kromatografi Gas-Spektometri Massa (GC-MS) .....	41
b. Uji Kualitas <i>Liquid Fuel</i> .....	42
11. Karakterisasi Katalis.....	42
a. XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	42
b. SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) .....	43
c. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) .....	44
d. <i>X-Ray Fluoresence</i> (XRF) .....	44
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	46
A. Pengantar.....	46
B. Preparasi Sekam Padi.....	47
C. Ekstraksi Silika Sekam Padi.....	47
D. Pembuatan Sol Silika Sekam Padi .....	49
E. Pembuatan Zeolit dengan Metode Elektrokimia ...	49
F. Preparasi Biji Karet ...	53
G. Ekstraksi Minyak Biji Karet .....	54
H. Preparasi Bagas Tebu .....	55
I. Uji Aktivitas Katalis Zeolit Sintetik.....	55
J. Uji Kualitas <i>Liquid Fuel</i> .....	62
K. Karakterisasi Katalis.....	63
1. XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	63



2. SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) .....	65
3. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) .....	68
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN</b> .....	70
A. Simpulan .....	70
B. Saran .....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	72

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Contoh zeolit alam yang umum ditemukan .....	14
2. Rumus oksida beberapa jenis zeolit sintetik .....	16
3. Komposisi Asam Lemak Minyak Biji Karet.....	20
4. Sifat Fisika-Kimia Minyak Biji Karet.....	20
5. Massa zeolit sintetik (g) yang dihasilkan dari percobaan dengan waktu dan potensial yang berbeda .....	51
6. Hasil analisis Zeolit Sintetik menggunakan XRF .....	52
7. Konversi <i>liquid fuel</i> menggunakan 12 jenis zeolit yang dikalsinasi pada suhu 60°C.....	57
8. Komponen <i>liquid fuel</i> menggunakan Zeo <sub>6:3</sub> 600 °C .....	58
9. Rangkuman komposisi <i>liquid fuel</i> menggunakan 12 jenis zeolit yang dikalsinasi pada suhu 600 °C .....	60
10. Rangkuman komposisi <i>liquid fuel</i> menggunakan yang dikalsinasi pada suhu 600-900 °C.....	61
11. Standar SNI 7431:2008.....	62
12. Distribusi ukuran partikel Zeo <sub>6:3</sub> yang dikalsinasi pada suhu 600-900 °C.....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Proses pembentukan puncak pada XRD .....	21
2. Skematik bagian-bagian dari difraksi sinar-X.....	23
3. Perangkat SEM .....	25
4. Bagian dasar kromatografi gas.....	31
5. Viskometer Ostwald (alat untuk mengukur viskositas) .....	33
6. Sekam padi yang dikering anginkan .....	47
7. Ekstraksi Silika Sekam Padi. ....	48
8. Proses Elektrolisis Zeolit.....	49
9. Gel Hasil Sintesis .....	51
10. Ekstraksi Minyak Biji Karet .....	54
11. Rangkaian Alat Pirolisis.....	56
12. Hasil Pirolisis .....	56
13. Kromatogram <i>liquid fuel</i> menggunakan Zeo <sub>6:3</sub> 600 °C.....	58
14. Difraktogram Zeo <sub>6:3</sub> 600-900 °C .....	63
15. Morfologi Zeo <sub>6:3</sub> 600-900 °C .....	66
16. PSA Zeo <sub>6:3</sub> 600-900 °C .....	68

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam merespon kebutuhan energi yang tidak mungkin lagi dipenuhi oleh energi fosil, pengembangan sumber energi alternatif dan terbarukan menjadi salah satu solusi dan isu global saat ini. Dalam konteks pengembangan energi alternatif terbarukan ini, sumber energi berbasis biomassa mendapat perhatian yang cukup besar, dimana terdapat dua faktor strategis yang mendukung pengembangan sumber energi alternatif ini, yakni ketersediaan biomassa dan teknologi yang mampu untuk mengubah biomassa yang ada menjadi sumber energi alternatif (bioenergi) yang dapat dimanfaatkan dengan lebih efisien dan efektif. Dari sisi ketersediaan, biomassa memiliki potensi yang sangat besar, karena sifatnya yang terbarukan dan jumlahnya yang sangat melimpah. Berbagai jenis biomassa dapat diperoleh dan diperbarui dengan relatif mudah, seperti residu agroindustri.

Residu agroindustri merupakan bahan baku yang potensial untuk dikembangkan karena pengolahannya menjadi bahan bakar memberikan keuntungan tambahan. Pemanfaatan residu agroindustri sangat membantu penanggulangan masalah lingkungan yang terkait dengan limbah dan dapat menghasilkan nilai tambah dari sektor pertanian, yang hingga saat ini belum mampu terwujud secara optimal.

Provinsi Lampung merupakan salah satu sentra agroindustri, dengan beragam komoditas pertanian atau perkebunan. Dari beragam agroindustri yang sudah ada, industri gula termasuk dalam agroindustri utama. Industri ini merupakan industri penghasil residu dengan jumlah yang sangat besar, yakni bagas tebu. Atas dasar ini, residu agroindustri di atas menjadi target utama, untuk pengembangan sumber energi alternatif terbarukan. Luas perkebunan tebu di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 487.095 Ha dengan jumlah produksi 2.728.393 ton, sedangkan bagas tebu yang dihasilkan dari produksi gula mencapai 30-40% yang artinya terdapat 1.091.357.2 ton bagas tebu yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif terbarukan (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2015).

Sumber energi alternatif terbarukan yang saat ini terus dikembangkan dan diteliti adalah bioetanol, biodiesel, dan bahan bakar cair hasil perengkahan (pirolisis) biomassa. Dari tiga jenis bahan bakar cair berbasis biomassa di atas, bahan bakar cair hasil pirolisis merupakan bahan bakar yang menarik perhatian karena untuk produksinya tidak membutuhkan bahan baku spesifik, dalam arti dapat diterapkan pada sembarang biomassa. Dengan keunggulan di atas, metode pirolisis telah diterapkan untuk menghasilkan bahan bakar cair dari berbagai bahan baku, antara lain minyak kelapa dan minyak kelapa sawit (Twaiq *et al.*, 2003; Twaiq *et al.*, 2004), biji tanaman kranji (Shadangi and Mohanty, 2013), dan tandan kelapa sawit (Abnisa, 2013).

Pirolisis merupakan perengkahan molekul besar menjadi molekul atau fragmen-fragmen yang lebih kecil dengan bantuan panas. Terkait dengan pirolisis

biomassa, secara umum diketahui bahwa pirolisis biomassa padat cenderung menghasilkan gas dan padat sementara produk cair hanya terbentuk dalam jumlah terbatas. Atas dasar ini, pembentukan produk cair (*liquid fuel*) berpotensi untuk dioptimalkan dengan mencampur biomassa padat dengan biomassa cair. Atas dasar ini, dalam penelitian ini bagas tebu akan dicampur dengan minyak nabati non-pangan, yakni minyak biji karet untuk mengoptimalkan pembentukan produk cair. Minyak biji karet digunakan sebagai bahan campuran dikarenakan Indonesia memiliki perkebunan karet yang cukup luas. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan (2015) luas perkebunan karet di Indonesia mencapai 3.621.587 Ha dan diperkirakan mampu menghasilkan biji karet sebanyak 800-1200 kg/Ha/tahun. Potensi sebesar ini belum dimanfaatkan secara optimal bahkan menjadi gulma yang mengganggu pertanaman karet. Padahal biji karet dapat digunakan sebagai sumber untuk penganeekaragaman bahan bakar nabati (BBN).

Karena proses pirolisis membutuhkan energi yang besar, perengkahan bahan baku memerlukan suhu tinggi yang berarti juga memerlukan biaya yang cukup besar. Untuk menekan biaya tersebut, pendekatan yang terus dikembangkan adalah dengan menambahkan katalis, karena salah satu sifat dasar katalis adalah menurunkan energi aktivasi suatu reaksi. Dari berbagai literatur dapat diketahui bahwa katalis yang paling umum digunakan adalah zeolit sintetis dengan komposisi yang berbeda dalam arti nisbah Si/Al. Sebagai contoh katalis zeolit *aluminosilicate mesoporous* dengan nisbah Si/Al yang berbeda telah digunakan untuk perengkahan minyak kelapa sawit (Twaiq *et al.*, 2004). Jenis katalis yang sama telah digunakan juga untuk perengkahan polietilen (Agudo *et al.*, 2002),



minyak jelantah (Kadarwati *et al*, 2010), dan *Palm Fatty Acid Distillate* (Yelmida *et al*, 2012).

Dalam konteks pengembangan zeolit sintetis, salah satu sumber silika yang potensi adalah sekam padi, karena ketersediaan sekam padi yang melimpah dan dapat diperbaharui. Selain itu, silika sekam padi memiliki kelarutan yang tinggi dalam alkalis, sehingga dapat diperoleh dengan metode ekstraksi alkalis menggunakan larutan NaOH atau KOH (Kalaphaty *et al.*, 2000 ; Daifullah *et al.*, 2003; Pandiangan *et al.*, 2008; *et al.*, 2009). Silika sekam padi diketahui merupakan silika amorf dan bersifat reaktif (Suka *et al.*, 2008) sehingga mampu bereaksi dengan zat lain untuk menghasilkan material berbasis silika.

Di samping silika, komponen utama zeolit adalah alumina. Secara elektrokimia, logam Al tergolong logam aktif dan memiliki potensial oksidasi yang relatif kecil (cari  $E^0$  untuk Al). Sifat ini - membuka peluang untuk menerapkan metode elektrokimia untuk menghasilkan ion aluminium secara in situ langsung dari logam aluminium. Sifat inilah- yang melandasi penerapan metode elektrokimia untuk pembuatan zeolit sintetis yang digagas dalam penelitian ini. Ion  $Al^{3+}$  yang dihasilkan dari oksidasi logam Al di anoda - akan terlarut dalam matriks sol silika dan terdistribusi secara merata, sehingga akan dihasilkan produk dengan homogenitas yang tinggi. Di samping itu, jumlah ion  $Al^{3+}$  yang dihasilkan dapat dikendalikan dengan mengatur potensial kimia dan waktu yang diterapkan dalam proses elektrolisis untuk menghasilkan zeolit sintetis dengan nisbah Al/Si yang berbeda.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan latar belakang masalah yang dipaparkan di atas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan spesifik sebagai berikut :

1. Mensintesis zeolit dengan komposisi yang berbeda melalui penerapan potensial dan waktu yang berbeda.
2. Mempelajari perengkahan campuran minyak nabati non pangan dan limbah agroindustri secara pirolisis dengan zeolit yang memiliki komposisi yang berbeda, untuk mendapatkan zeolit dengan unjuk kerja terbaik.
3. Mempelajari karakteristik zeolit dengan komposisi nisbah Si/Al berbeda yang berfungsi sebagai katalis untuk proses perengkahan bagas tebu dan minyak biji karet sebagai bahan bakar cair/*liquid fuel*

## 1.3 Manfaat Penelitian

Selain pengayaan ilmu pengetahuan tentang informasi ilmiah, manfaat penelitian ini adalah :

1. Membuka peluang untuk mengembangkan perolehan nilai tambah dari sekam padi, bagas tebu dan minyak biji karet.
2. Membuka peluang untuk meningkatkan ketersediaan sumber energi terbarukan dalam mengantisipasi semakin menipisnya cadangan energi fosil.

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Bahan Bakar Cair (*Liquid Fuel*)**

*Liquid Fuel* adalah istilah umum untuk bahan bakar yang berwujud cair. Dalam pengembangan energi alternatif dan terbarukan, konteks bahan bakar cair meliputi tiga jenis utama yaitu bioetanol, biodiesel, dan bahan bakar cair hasil perengkahan senyawa organik besar atau biomassa. Pengembangan bahan bakar cair yang sudah berkembang hingga skala industri saat ini antara lain bioetanol dan biodiesel. Namun terdapat sejumlah kelemahan dan kendala dalam produksi kedua jenis bahan bakar cair tersebut. Dimana kelemahan pertama yaitu produksi dari kedua bahan bakar tersebut memerlukan bahan baku yang spesifik, dimana bioetanol hanya dapat dihasilkan dan diproduksi dari gula reduksi sedangkan biodiesel dihasilkan dari minyak nabati, baik itu minyak nabati pangan maupun non pangan. Karena keterbatasan tersebut, terdapat persaingan antara industri energi dan industri pangan, yang mana disebabkan produksi kedua energi terbarukan tersebut pada umumnya masih mengandalkan bahan baku yang juga sangat dibutuhkan untuk pangan.

Bioetanol hanya dapat dihasilkan dari gula reduksi dengan cara fermentasi sehingga bahan baku terbatas pada pangan yang dapat diubah menjadi gula reduksi, dan bahan baku paling banyak digunakan adalah pati dari beberapa tanaman, misalnya talas (Astuti, 2014) dan ubi kayu (Arnata dkk, 2013). Produksi bioetanol juga memerlukan waktu yang relatif lama, yakni sekitar tiga hari, dan memerlukan substrat tambahan sebagai pendukung pertumbuhan mikroorganisme untuk kelangsungan proses fermentasi. Produksi biodiesel juga memerlukan reaktan lain, yakni alkohol terutama metanol dan etanol untuk mengubah asam lemak dalam minyak nabati menjadi turunannya berupa metil ester atau etil ester. Persaingan antara penggunaan sebagai bahan pangan dan sebagai sumber energi terbarukan juga dihadapi dalam industri biodiesel. Hal ini terjadi karena untuk pembuatan biodiesel, minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku, terutama minyak kelapa (Susanti, 2015) dan minyak kelapa sawit (Aristiani, 2016; Meliana, 2015) juga merupakan bahan pangan yang sangat penting dan digunakan juga sebagai bahan baku untuk industri lain. Sehingga proses pembuatan bioetanol dan biodiesel disamping memerlukan waktu yang lama juga dalam aspek ekonomis membutuhkan biaya yang cukup mahal.

Karena kelemahan diatas, metode produksi bahan bakar cair dari biomassa yang dewasa ini menarik perhatian besar yaitu metode perengkahan atau pirolisis. Metode ini menjadi salah satu pusat perhatian karena memiliki tiga karakter yang sangat menguntungkan, yakni dapat diterapkan pada sembarang biomassa (*non-specific raw materials*), prosesnya sangat cepat, serta perangkat pengolahan yang sederhana. Berbeda dengan dua jenis bahan bakar cair di atas, bahan bakar cair

yang diperoleh dengan cara 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 contoh, sisa pemotongan kayu, ranting kayu, bonggol jagung, sekam dan lain-lain. Perbedaan penting lainnya adalah pembuatan bahan bakar cair dengan pirolisis tidak memerlukan bahan baku lain, dan prosesnya berlangsung sangat cepat. Dengan demikian, bahan bakar cair hasil pirolisis sangat menguntungkan dan potensial untuk dikembangkan.

## **B. Pirolisis**

Pirolisis pada dasarnya merupakan perengkahan atau penguraian molekul besar menjadi molekul atau fragmen yang lebih kecil dengan bantuan panas. Pirolisis dapat didefinisikan sebagai dekomposisi material organik dengan bantuan panas (termal) pada suasana inert (tanpa oksigen), menjadi senyawa yang lebih sederhana. Pirolisis pada umumnya dilakukan pada suhu 200-500 °C (Sheth *and* Babu, 2006), dan menghasilkan tiga macam produk, yakni gas, cair, dan padat (*char*). Komposisi produk pirolisis pada umumnya dipengaruhi beberapa faktor, antara lain, jenis bahan baku, suhu pirolisis, waktu pirolisis dan kondisi proses pirolisis. Selain itu keuntungan lain adalah proses pirolisis berlangsung sangat cepat, sehingga lebih efisien dari sisi waktu. Di samping itu, perangkat yang dibutuhkan sangat sederhana dan dapat dirancang dengan mudah. Dua keunggulan utama di atas menjadi pendorong tingginya ketertarikan pada metode ini, yang tergambar dengan jelas dari berbagai penelitian untuk penerapannya

terhadap beragam bahan baku, Dalam prakteknya, pirolisis telah dilakukan tanpa dan dengan bantuan katalis, dengan hasil yang beragam tergantung pada jenis bahan baku seperti minyak sawit (Nasikin *et al*, 2009; Wijanarko *et al*, 2006; Nurjanah *et al*, 2010), *Palm Fatty Acid Distillate* (Yelmida *et al*, 2012), minyak jelantah (Kadarwati *et al*, 2010) serbuk kayu (Danarto *et al*, 2010), tempurung kelapa (Joardder *et al.*, 2011), cangkang sawit (Abniza, *et al.*, 2011), biji jarak (Sing and Shadangi, 2011), kondisi proses seperti reaktor fluida (*Fluidized bed reactor*) (Jung *et al.*, 2008), reaktor berpengaduk (*Stirrer bed reactor*) (Manasomboonphan and Junyapoon, 2012) dan jenis katalis yang digunakan seperti zeolit HZSM-5 (Lima *et al.*, 2004; Nurjanah *et al*, 2010), zeolit NiMo/ tipe klipnotilolit (Nasikin *et al*, 2009) zeolit (Danarto *et al*, 2010), katalis  $\gamma$ -alumina (Wijanarko *et al*, 2006).

Meskipun belum mencapai tahap industri, produksi bahan bakar cair hasil pirolisis dewasa ini terus diteliti, baik tanpa katalis maupun dengan bantuan katalis. Dengan metode pirolisis tanpa katalis, Jung *et al.*, (2008) meneliti pengolahan jerami padi menjadi bahan bakar cair. Dalam penelitian tersebut jerami padi diolah menggunakan reaktor fluida (*fluidized bed reactor*) dengan suhu pirolisis 415-540 °C. Pirolisis jerami padi dihasilkan produk yang optimal pada suhu 440-500 °C. Peneliti yang sama juga mengolah serbuk bambu menjadi bahan bakar cair dengan reaktor yang sama tetapi dengan suhu yang berbeda yakni 350-510 °C sedangkan produk optimal dihasilkan pada suhu 405-450 °C dan pada serbuk bambu *yield* bahan bakar cair tertinggi 70%. Senyawa utama yang dihasilkan adalah fenolat, furfural, asam asetat, levoglucosan, guaiacol, dan alkyl guaiacol.

Komposisi kimia dianalisa dengan kromatografi gas dan spektrometer massa (GC-MS), dan ditemukan bahwa bahan fraksi ringan dari bakar cair yang dihasilkan mengandung asam, aldehida, keton, alkohol, fenol, gula, sementara fraksi menengah dan fraksi berat terdiri dari fenol dan *levoglucosan*. Hasil pirolisis terdiri dari zat cair sebesar 46,36% dan gas sebesar 27% , sisanya adalah tar.

Selain pirolisis langsung, pirolisis dengan bantuan katalis juga terus dikembangkan dewasa ini. Dari berbagai literatur dapat diketahui bahwa berbagai jenis katalis telah dikembangkan dan digunakan untuk mengolah berbagai jenis bahan baku. Lima *et al.*, (2004) melaporkan pengolahan beberapa jenis minyak nabati (minyak kedelai, minyak batang sawit, dan minyak jarak kaliki) secara pirolisis juga menggunakan zeolit HZSM-5 sebagai katalis, pada rentang suhu 350-400 °C. Bahan bakar cair yang dihasilkan selanjutnya difraksinasi dengan metode destilasi fraksinasi ke dalam empat komponen berdasarkan rentang titik didih, yakni < 80 °C, 80-140 °C, 140-200 °C dan > 200 °C dan dihasilkan *yield* tertinggi  $\geq 60\%$  pada rentang titik didih > 200 °C. Komposisi kimia dianalisa dengan GC-MS dan ditemukan bahwa mengandung hidrokarbon alkana, alkena, alkadiena dan asam karboksilat.

Nurjanah dkk, (2010) melaporkan menggunakan katalis yang sama untuk pirolisis minyak sawit. Pirolisis dilakukan dengan mikroreaktor *fixed bed* pada temperatur 350-500 °C dan laju alir gas N<sub>2</sub> 100-160 mL/menit selama 120 menit. Hasil pirolisis dianalisa dengan metode gas kromatografi. Hasil yang diperoleh untuk katalis HZSM-5 fraksi gasoline dengan *yield* tertinggi 28,87%, kerosin 16,70%



dan diesel 12,20% pada suhu reaktor 450 °C dan laju gas N<sub>2</sub> 100 mL/menit. Dari informasi literatur yang dipaparkan di atas, terlihat bahwa salah satu jenis katalis yang digunakan adalah zeolit.

### **C. Potensi Pemanfaatan *Liquid Fuel* Hasil Pirolisis**

#### **1. Bahan Bakar Boiler**

Nilai pemanasan dari *liquid fuel* adalah sekitar setengah dari bahan bakar fosil, dan berisi sebagian besar air. *Boiler* atau tungku memerlukan pemanasan awal dengan bahan bakar konvensional (Bridgwater *et al.*, 2000). *Bio-oil* membakar lebih bersih daripada bahan bakar fosil karena memiliki kandungan sulfur dan nitrogen yang rendah (Balat *et al.*, 2009).

#### **2. Produksi Listrik**

Produksi listrik lebih banyak dibuat daripada produksi panas karena distribusi dan pemasaran yang mudah. Selama beberapa tahun terakhir banyak mesin diesel telah diuji dengan *bio-oil* (Bridgwater *et al.*, 2002). Hasil yang dilaporkan untuk kinerja mesin dapat berjalan dengan lancar. Namun, terdapat masalah utama yang masih perlu diatasi yaitu sifat asam dari *bio-oil*, dan kecenderungan untuk pembentukan jelaga dan re-polimerisasi, yang menyebabkan viskositas meningkat. Penggunaan *bio-oil* membutuhkan modifikasi dari berbagai bagian mesin, diantaranya yang paling penting adalah pompa bahan bakar, lapisan dan sistem injeksi. Dengan modifikasi ini mesin diesel dapat membuat *bio-oil* diterima sebagai pengganti bahan bakar diesel. Produksi listrik di industri gula tampaknya menjadi pilihan yang cocok tetapi tidak semua listrik dapat digunakan

*on-site* dikarenakan turbin yang digunakan dioperasikan terus menerus sehingga perlu adanya pengaturan ulang terkait proses ini.

### **3. Produksi Gas Sintesis**

Gas sintesis adalah campuran hidrogen ( $H_2$ ) dan karbon monoksida (CO) yang biasanya dihasilkan melalui gasifikasi. Gas sintesis kemudian dapat digabungkan dengan turbin atau mesin untuk menghasilkan listrik. Atau *Fisher-Tropsch* (FT) reaksi mengkonversi gas sintesis yang berasal dari batu bara, metana atau biomassa untuk bahan bakar cair (Qi *et al.*, 2007). Gas sintesis dapat diproduksi dari biomassa langsung, atau dari produk pirolisis.

### **4. Steam Reforming**

Dalam proses ini hidrogen diproduksi melalui reaksi katalitik uap *bio-oil*. Jika diperoleh sekitar 80% berat cairan dari hasil pirolisis, 6 kg hidrogen dapat diproduksi dari 100 kg kayu *pyrolyzed*. Berbagai katalis telah digunakan oleh para ilmuwan yang berbeda di lapangan (Qi *et al.*, 2007). Umumnya proses ini membutuhkan modal yang tinggi.

### **5. Bahan Bakar Transportasi**

Saat ini tampaknya bahwa *bio-oil* yang paling cocok untuk pembakaran stasioner bukan sebagai bahan bakar transportasi. Dimana teknologi ini akan berkembang selama tahun-tahun mendatang, dan dapat menjadi teknologi yang ekonomis ketika harga BBM naik.

## 6. Ekstraksi Kimia

Tingginya nilai komponen *bio-oil* tertentu dapat membuat ekstraksi kimia alternatif. Nilai tambah yang lebih tinggi dari bahan kimia tampaknya menjadi yang hal paling menarik untuk dikembangkan (Bridgwater *et al.*, 1999). Ekstraksi dapat dilakukan sebelum atau sesudah proses termokimia. Dimana zat yang berharga khas dapat dibuat antara lain fenol, asam organik yang mudah menguap, levoglucosan, furfural, hidroksiasetaldehida. Furfural adalah bahan kimia bernilai tinggi yang biasanya dihasilkan dari hemiselulosa, dan digunakan sebagai reaktan dan pelarut selektif dalam industri kimia (Bridgwater *et al.*, 1996). Levoglucosan adalah senyawa tunggal yang dapat diproduksi dengan hasil yang tinggi. Sekitar 50% dapat diproduksi dari selulosa pada suhu 370-410 °C dan waktu tunggu 10 detik (Bridgwater *et al.*, 2002). Dengan informasi ini kondisi proses pirolisis dapat dioptimalkan untuk produksi bahan kimia secara selektif (Bridgwater, 1996). Namun komersialisasi bahan kimia spesialis dari *bio-oil* akan memerlukan penelitian di teknik pemisahan dan pemurnian. Komponen cair dari pirolisis tidak dapat sepenuhnya menguap, karena dapat bereaksi dan membentuk residu padat yang disebabkan karena suhu meningkat. Oleh karena itu bahan bakar tidak dapat sepenuhnya menguap sebelum pembakaran (Qi *et al.*, 2007).

## D. Zeolit

### 1. Zeolit Alam

Zeolit alam ditemukan dalam bentuk mineral dengan komposisi yang berbeda, terutama dalam nisbah Al/Si dan jenis logam yang menjadi komponen minor, seperti diperlihatkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Contoh zeolit alam yang umum ditemukan (Subagjo, 1993)

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

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin (Lestari, 2010). Sebagai produk alam, zeolit alam diketahui memiliki komposisi yang sangat bervariasi, namun komponen utamanya adalah alumina dan silika. Di samping komponen utama ini, zeolit juga mengandung berbagai unsur minor, antara lain Na, K, Ca (Bogdanov, 2009), Mg, dan Fe (Akimkhan, 2012).

Zeolit alam yang umum ditemukan di Indonesia adalah jenis zeolit klinoptilolit (Lestari, 2010). Zeolit klinoptilolit memiliki diameter pori 0,45-0,65 nm (Bogdanov, 2009). Klinoptilolit memiliki sifat stabil di berbagai media kaustik, stabil terhadap suhu tinggi, dan tingkat kesetimbangan adsorpsinya tinggi, sehingga banyak digunakan dalam perlindungan kimia lingkungan dan industri (Korkuna, 2006). Dewasa ini klinoptilolit banyak digunakan dalam bidang pengolahan air dan limbah cair (Hrenovi, 2003; Erdem, 2004), adsorpsi (Polat, 2004), pengolahan limbah nuklir (Prikryl, 1999), pertanian (Földesová, 2007), dan pengobatan (Pavelic, 2002; Zarkovic, 2003).

Terlepas dari aplikasinya yang luas, zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit. Untuk memperbaiki karakter zeolit alam sehingga dapat digunakan sebagai katalis, adsorben, atau aplikasi lainnya, biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu (Mockovciakova *et al.*, 2007; Setiadi dan Pertiwi 2007; Yuanita, 2010).

## **2. Zeolit Sintetik**

Zeolit sintetik adalah zeolit yang dibuat secara rekayasa yang sedemikian rupa sehingga didapatkan karakter yang lebih baik dari zeolit alam. Prinsip dasar produksi zeolit sintetik adalah komponennya yang terdiri dari alumina dan silika, sehingga dapat disintesis dari berbagai bahan baku yang mengandung kedua komponen di atas. Komponen minor dalam zeolit juga dapat ditambahkan dengan

mudah menggunakan senyawa murni, sehingga zeolit sintetis memiliki komposisi yang tetap dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Dengan perkembangan penelitian, dewasa ini telah dikenal beragam zeolit sintetis, dan beberapa diantaranya disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Rumus oksida beberapa jenis zeolit sintetis (Georgiev, 2009).

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

Dewasa ini zeolit sintetis terus dikembangkan, dengan dua fokus utama yaitu bahan baku dan metode. Dari segi bahan baku utama, digunakan dua jenis bahan baku yakni bahan baku sintetis dan bahan baku limbah. Wongkasemjit (2002) mensintesis zeolit ANA dan GIS dari bahan baku sintetis aluminatran dan silatran dengan proses *sol-gel* dan teknik *microwave*. Aluminatran dan silatran digunakan sebagai prekursor untuk menghasilkan aluminosilikat melalui proses *sol-gel*. NaCl dan NaOH digunakan sebagai agen hidrolisis. Konsentrasi NaOH mempengaruhi bentuk kristalnya, kristal yang sangat baik terbentuk pada konsentrasi NaOH yang tinggi. Proses pembentukan *gel* adalah reaksi endotermik. Proses pertumbuhan kristal maksimum diketahui menggunakan *differential scanning calorimetry* (DSC) terjadi pada suhu 106 °C. Dengan NaOH/H<sub>2</sub>O sebagai agen hidrolisis dan rasio SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O dan H<sub>2</sub>O 1:0,25:3:410, Na-P1 (GIS) terbentuk dengan

perlakuan hidrotermal selama 3 jam pada suhu  $110^{\circ}\text{C}$ , sedangkan *analcime* (ANA) terbentuk pada suhu  $130^{\circ}\text{C}$  selama 8 jam. Ukuran partikel yang terbentuk, GIS  $4,55\ \mu\text{m}$  dan ANA berukuran  $9,96\ \mu\text{m}$ .

Sunardi (2007) melaporkan telah mensintesis zeolit dengan bahan baku abu layang batu bara dengan metode peleburan menggunakan NaOH serta aplikasinya sebagai adsorben logam merkuri (II). Abu layang dan NaOH dicampur dan dihomogenkan lalu dilebur pada temperatur  $550^{\circ}\text{C}$  selama 60 menit. Hasil peleburan ditambahkan aquades, diaduk selama 12 jam dan dihidrotermalkan pada temperatur  $90^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam. Hasil karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa telah terbentuk zeolit tipe faujasit.

Bahan baku lain yang digunakan dalam sintesis zeolit adalah silika sekam padi. Wittayakun (2008) melaporkan telah mensintesis zeolit NaP dari NaY dari silika sekam padi dengan metode hidrothermal. Dalam pelaksanaannya, proses dilakukan secara hidrotermal pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  dengan rasio optimum dari  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Na}_2\text{O}$  adalah 10:1:4,6. Parameter yang dipelajari adalah waktu *aging* dan waktu kristalisasi. Dari hasil yang diberikan, waktu *aging* tidak memberikan efek yang besar, akan tetapi perubahan waktu kristalisasi memberikan hasil transformasi yang signifikan. Untuk melihat perubahan transformasi menggunakan alat *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Micrograph* (SEM) digunakan untuk melihat distribusi ukuran partikel, pada kondisi optimum ukuran partikelnya  $7\text{-}14\ \mu\text{m}$ .



## E. Ampas Tebu

Ampas tebu merupakan suatu residu dari proses penggilingan tanaman tebu (*saccharum officinarum*) yang merupakan hasil samping dari proses mengekstrakan nira yang terdapat pada Industri gula sehingga diperoleh produk limbah berserat yang dikenal sebagai ampas tebu (*bagasse*). Ampas tebu merupakan salah satu limbah padat dari pabrik gula. Saat ini perkebunan tebu rakyat mendominasi luas areal perkebunan tebu di Indonesia. Ampas tebu jumlahnya sangat berlimpah di Indonesia yang mana volumenya mencapai 30-40% dari tebu giling dengan produksi tebu di Indonesia pada tahun 2007 mencapai 21 juta ton dan potensi ampas yang dihasilkan sekitar 6 juta ton ampas per tahun.

Ampas tebu termasuk biomassa yang mengandung lignoselulosa yang sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif seperti bioetanol, biogas dan perengkahan (pirolisis). Ampas tebu memiliki kandungan selulosa 52,7%, hemiselulosa 20,0%, dan lignin 24,2% (Samsuri *et al.*, 2007). Berdasarkan bahan kering, ampas tebu adalah terdiri dari unsur karbon 47 %, hidrogen 6,5 %, oksigen 44 % dan abu 2,5 %. Menurut rumus Pritzelwitz (Hugot, 1986) tiap kilogram ampas dengan kandungan gula sekitar 2,5 % memiliki kalor sebesar 1825 kkal.

## **F. Minyak Biji Karet**

Menurut Silam (1998), karet merupakan tanaman berbuah polong (diselaputi kulit yang keras) yang sewaktu masih muda buahnya berpaut erat dengan rantingnya. Buah karet dilapisi oleh kulit tipis berwarna hijau dan di dalamnya terdapat kulit yang keras dan berkotak. Tiap kotak berisi sebuah biji yang dilapisi tempurung, setelah tua warna kulit buah berubah menjadi keabu-abuan dan kemudian mengering. Pada waktunya pecah dan jatuh, bijinya tercampak lepas dari kotaknya. Tiap buah tersusun atas dua sampai empat kotak biji dimana setiap kotak terdapat satu biji.

Tanaman karet mulai menghasilkan buah pada umur lima tahun dan akan semakin banyak setiap pertambahan umur tanaman. Bagian biji karet sekitar 50-60% kernel mengandung 40-50% minyak (Ramadhas *et al.* 2005). Berdasarkan hasil penelitian di Balai Penelitian Perkebunan Bogor, kandungan minyak dalam biji karet sekitar 45–50%. Minyak biji karet mengandung asam lemak jenuh 17–22% yang terdiri dari asam palmitat, asam stearat, dan asam arakhidat. Sekitar 77–82% berupa asam lemak tidak jenuh yang terdiri dari asam lemak oleat, linoleat, dan linolenat (Ikwaagwu *et al.* 2000). Komposisi asam lemak minyak biji karet yang paling dominan adalah asam lemak linoleat. Selain itu, biji karet mengandung 27% protein, 40–45% lemak, 2,4% abu, dan 3,6% air (Lauw *et al.*, 1967). Tabel 3 dan Tabel 4 adalah komposisi asam lemak dan sifat fisika kimia minyak biji karet.

**Tabel 3. Komposisi Asam Lemak Minyak Biji Karet**

Asam lemak	Gugus alkil	Komposisi (% berat)
Asam oleat	18 : 1	28 – 30
Asam linoleat	18 : 2	33 - 35
Asam linolenat	18 : 3	20 - 21
Asam palmitat	16 : 0	7 – 8
Asam arakhidat	20 : 0	0,5
Asam stearat	18 : 0	9 - 10

Sumber : Mittelbach and Remschmidt 2006

**Tabel 4. Sifat Fisika-Kimia Minyak Biji Karet**

Sifat Fisika-Kimia	Nilai
Viskositas pada 30 °C (mm <sup>2</sup> /s)	37,85
Densitas pada 15 °C (g/cm <sup>3</sup> )	0,918
Bilangan asam (mg KOH/g) 1	1
Flash point (°C)	290
Cloud point (°C)	-1,0
Kadar abu sulfat [% ( mm/mm)]	0,02
Bilangan iod (g Iod/100 g)	142,9

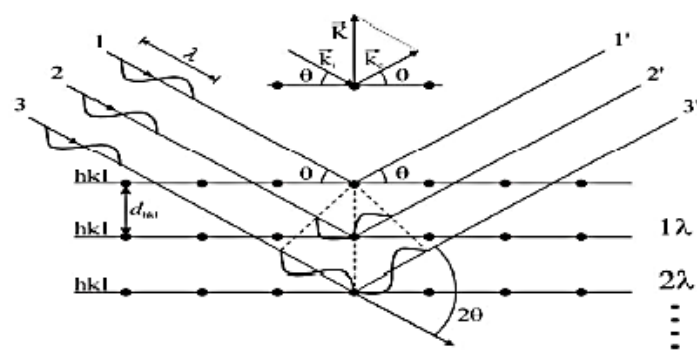
Sumber : Ikwuagwu *et al.* 2000

## G. Karakterisasi Zeolit Sintetik

### 1. Difraksi Sinar-X (*X-Ray Diffraction*)

Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dimaksudkan untuk mengidentifikasi fasa bulk suatu katalis dan untuk menentukan sifat kristal atau kristalinitas dari suatu katalis. Kebanyakan dari katalis adalah 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 and ukuran kristal (Leofanti *et al.*, 1997).

Sistem kerja difraktometer sinar-X didasarkan pada hukum Bragg yang menjelaskan tentang pola, intensitas dan sudut difraksi ( $2\theta$ ) yang berbeda-beda pada tiap bahan. Interferensi berupa puncak-puncak sebagai hasil difraksi dimana terjadi interaksi antara sinar-X dengan atom-atom pada bidang kristal (Cullity, 1978). Jika seberkas sinar-X dengan panjang gelombang  $\lambda$  diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut  $\theta$ , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang atom kristal dan akan menghasilkan puncak difraksi. Besar sudut tergantung pada panjang gelombang  $\lambda$  berkas sinar-X dan jarak antar bidang penghamburan ( $d$ ). Skema difraksi sinar-X oleh atom-atom kristal dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Proses pembentukan puncak pada XRD

Pola difraksi di-plotkan 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.

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

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 pembandingan intensitas atau luasan peak sampel dengan intensitas atau luasan peak standar yang ditunjukkan pada persamaan :

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

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

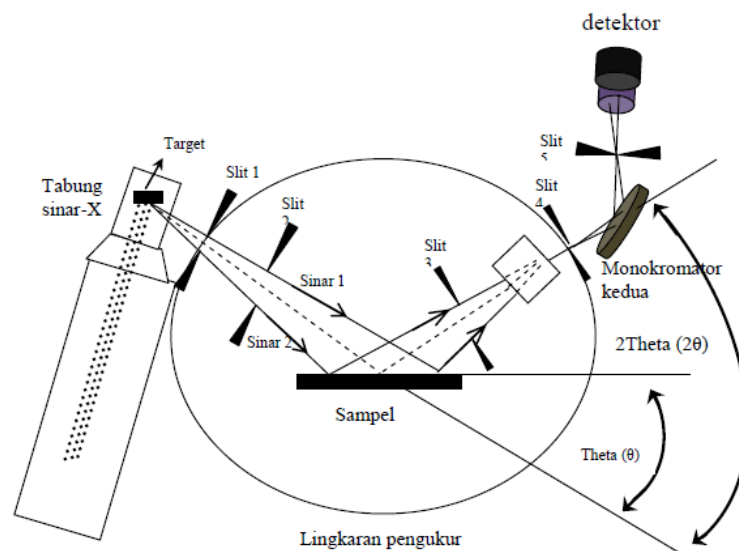
$$Crystallite\ size = \frac{K\lambda}{(B^2 - b^2)^{1/2} \cos(2\theta/2)}$$

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 (Richardson, 1989). Suku  $(B^2 - b^2)^{1/2}$  adalah lebar peak untuk *corrected instrumental broadening*.

Sinar-X terjadi jika suatu bahan ditembakkan dengan elektron dengan kecepatan tinggi dalam suatu tabung vakum. Elektron-elektron dipercepat yang berasal dari filamen (katoda) menumbuk target (Anoda) yang berada dalam tabung sinar-X sehingga elektron-elektron tersebut mengalami perlambatan. Sebagian energi kinetik elektron pada filamen diserahkan pada elektron target yang mengakibatkan ketidakstabilan elektron. Keadaan tidak stabil ini akan kembali pada kondisi

normal dalam waktu  $10^{-8}$  detik sambil melepaskan energi kinetik elektron dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang disebut sebagai sinar-X kontinuis dimana panjang gelombang ( $\lambda$ ) nya tidak tunggal.

Sinar-X berikutnya adalah sinar-X yang muncul pada tegangan sekitar 30 kV dan disebut sinar-X karakteristik. Dengan menggunakan filter khusus dapat diperoleh  $\lambda$  sinar-X yang tunggal. Sinar-X seperti inilah yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan difraksi sinar-X. Berkaitan dengan fenomena difraksi,  $\lambda$  sinar-X karakterisasi kebetulan relatif sama dengan jarak antar atom dalam kristal sehingga dengan demikian atom dapat mendifraksi sinar-X. Skema bagian-bagian dari difraksi sinar-X ditunjukkan seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Skematik bagian-bagian dari difraksi sinar-X (Hunter, 1997).

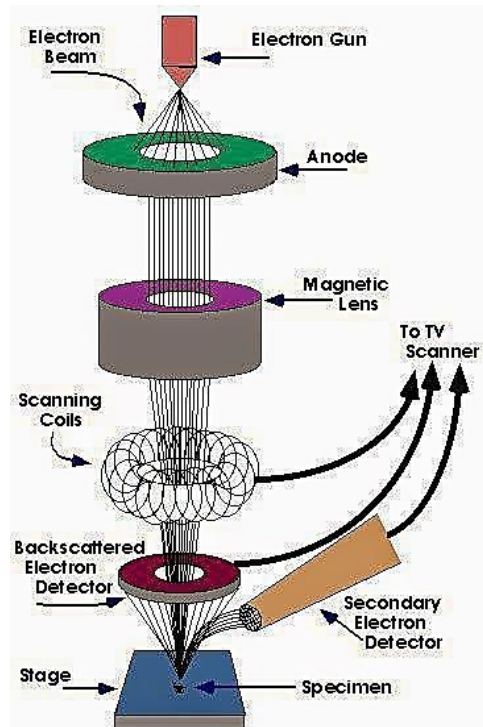
Identifikasi struktur fasa yang ada pada sampel secara umum dilakukan dengan menggunakan standar melalui pangkalan data *Join Committee on Powder*

*Diffraction Standards*, JCPDS (1996) *International Centre for Powder Diffraction Data*, ICPDF (1978). Analisis kualitatif didasarkan pada intensitas dari sampel dibandingkan atau dicocokkan dengan menggunakan standar internal maupun standar eksternal. Gambar 3 merupakan contoh difraktogram alumina silikat yang dihasilkan dari proses elektrokimia.

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

Untuk menganalisis komposisi kimia suatu permukaan secara kualitatif dan kuantitatif digunakan perangkat alat SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Pada SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dapat diamati karakteristik bentuk, struktur, serta distribusi pori pada permukaan bahan, sedangkan komposisi serta kadar unsur yang terkandung dalam sampel dapat diamati dengan EDX (Sartono, 2007). Penggunaan elektron sebagai sumber energi pada SEM menghasilkan resolusi dan kedalaman fokus yang lebih tinggi dibandingkan mikroskop optik. Oleh karena resolusi SEM yang tinggi, tekstur, topografi, dan morfologi serta tampilan permukaan suatu sampel dapat terlihat dalam ukuran mikron. Selain itu, SEM juga memberikan informasi dalam skala atomik dari suatu sampel. Daya pisah SEM berkisar 0,5 nm dengan perbesaran maksimum sampai 500.000 kali (Griffin and Riessen, 1991). Perangkat SEM diperlihatkan pada Gambar 3.





**Gambar 3.** Perangkat SEM (Ayyad, 2011).

SEM dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) yang dapat digunakan untuk menentukan unsur dan komposisi kimia dari suatu material dengan memanfaatkan *backscattered electron* (BSE). BSE dihasilkan dari pancaran elektron dengan inti yang menyebabkan adanya interaksi elektron. Analisis visual mikrograf pada warna yang lebih terang menunjukkan unsur kimia yang memiliki nomor atom lebih besar sementara warna gelap menunjukkan unsur dengan nomor atom lebih rendah.

Elektron-elektron sekunder memiliki energi rendah yang mengakibatkan elektron tersebut dapat dibelokkan membentuk sudut dan menimbulkan bayangan topografi sedangkan sinar X amat peka terhadap jumlah elektron, hal ini penting untuk menunjukkan perbedaan dari perubahan komposisi kimia sampel. Selain

itu, intensitas sinar X juga peka terhadap orientasi berkas sinar datang relatif terhadap kristal. Efek yang ditimbulkan adalah perbedaan orientasi antar butir dalam suatu sampel kristal yang dapat memberikan informasi kristalografi.

### 3. Particle Size Analyzer (PSA)

*Particle Size Analyzer* (PSA) digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel dalam media cair maupun padat. PSA bekerja berdasarkan metode *Dinamyc Light Scattering* (DLS) dengan memanfaatkan hamburan inframerah yang ditembakkan oleh alat ke sampel sehingga sampel akan merespon dengan menghasilkan gerak Brown. Gerak Brown berupa gerak acak dari partikel yang sangat kecil dalam cairan akibat benturan dengan molekul-molekul yang ada dalam zat cair. Gerak inilah yang akan dianalisis, semakin kecil ukuran partikel maka semakin cepat gerakannya. Metode DLS ideal untuk menentukan partikel berukuran nanometer dan biomaterial. Kisaran ukuran partikel yang dapat dianalisis yaitu diantara 0,1 nm hingga 10  $\mu\text{m}$ . Distribusi ukuran partikel dianalisis dan diolah menggunakan statistik distribusi dengan parameter *mean* (ukuran rata-rata), *median* (nilai tengah) dan *modulus* (ukuran dengan frekuensi tinggi) (Rawle, 2012).

PSA merupakan suatu alat yang digunakan untuk menentukan ukuran partikel yang berbasis PCS (*Photon Correlation Spectroscopy*) dan menggunakan metode LAS (*Laser Diffraction*). Metode LAS ini dibagi menjadi 2 metode, yaitu:

1. Metode basah (*Wet Dispersion Unit*), metode ini menggunakan media pendispersi untuk mendispersikan material uji.

2. Metode kering (*Dry Dispersion Unit*), 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 antar partikel lemah dan kemungkinan untuk beraglomerasi kecil.

Pengukuran partikel dengan menggunakan PSA biasanya menggunakan metode basah. Metode ini dinilai lebih akurat jika dibandingkan dengan metode kering ataupun pengukuran partikel dengan metode ayakan dan analisa gambar.

Terutama untuk sampel-sampel dalam orde nanometer dan submicron yang biasanya memiliki kecenderungan aglomerasi yang tinggi. Hal ini dikarenakan partikel didispersikan ke dalam media sehingga partikel tidak saling beraglomerasi (menggumpal). Dengan demikian ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari *single particle*. Selain itu hasil pengukuran dalam bentuk distribusi, sehingga hasil pengukuran dapat diasumsikan sudah menggambarkan keseluruhan kondisi sampel (Rawle, 2010).

Keunggulan penggunaan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran partikel:

1. Lebih akurat. Pengukuran partikel dengan menggunakan PSA lebih akurat jika dibandingkan dengan pengukuran partikel dengan alat lain seperti XRD ataupun SEM. Hal ini dikarenakan partikel didispersikan ke dalam media sehingga ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari *single particle*.

2. Hasil pengukuran dalam bentuk distribusi, sehingga dapat menggambarkan keseluruhan kondisi sample.
3. Rentang pengukuran dari 0,6 nanometer hingga 7 mikrometer.

#### 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 *et al.*, 2010).

## **H. Karakterisasi *Liquid Fuel***

### **1. Kromatografi Gas-Spectrometri Massa(GC-MS)**

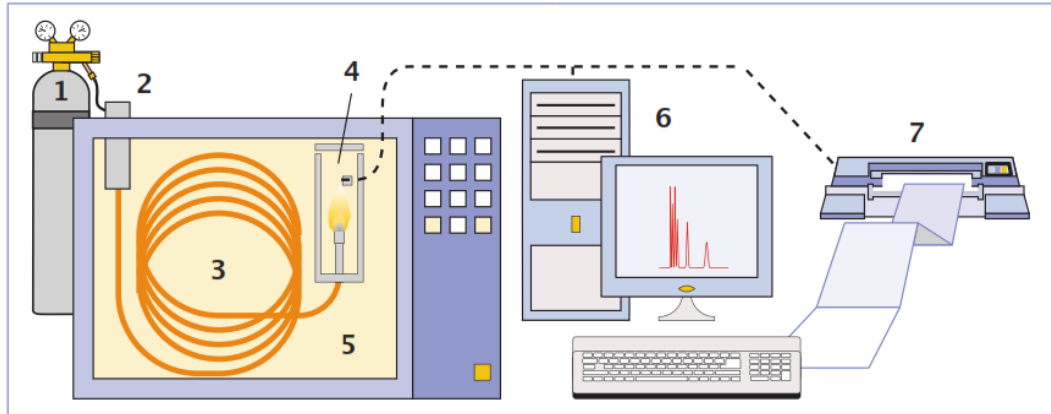
GC-MS merupakan metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Kromatografi gas merupakan salah satu teknik spektroskopi yang menggunakan prinsip pemisahan campuran berdasarkan perbedaan kecepatan migrasi komponen-komponen penyusunnya. Kromatografi gas biasa digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang terdapat pada campuran gas dan juga menentukan konsentrasi suatu senyawa dalam fase gas.

Spektroskopi massa adalah suatu metode untuk mendapatkan berat molekul dengan cara mencari perbandingan massa terhadap muatan dari ion yang muatannya diketahui dengan mengukur jari-jari orbit melingkarnya dalam medan magnetik seragam. Umumnya spektrum massa diperoleh dengan mengubah senyawa suatu sample menjadi ion-ion yang bergerak cepat yang dipisahkan berdasarkan perbandingan massa terhadap muatan. Spektroskopi massa mampu menghasilkan berkas ion dari suatu zat uji, memilah ion tersebut menjadi spektrum yang sesuai dengan perbandingan massa terhadap muatan dan merekam kelimpahan relatif tiap jenis ion yang ada. Umumnya hanya ion positif yang dipelajari karena ion negatif yang dihasilkan dari sumber tumbukan umumnya sedikit.

Kromatografi gas atau yang biasa disebut *carrier gas* digunakan untuk membawa sample melewati lapisan (*bed*) material. Karena gas yang bergerak, maka disebut *mobile phase* (fasa bergerak), sebaliknya lapisan material yang diam disebut *stationary phase* (fasa diam). Cara kerja dari kromatografi gas adalah gas pembawa lewat melalui satu sisi detektor kemudian memasuki kolom. Di dekat kolom ada suatu alat di mana sampel – sampel bisa dimasukkan ke dalam gas pembawa tempat injeksi). Sampel – sampel tersebut dapat berupa gas atau cairan yang volatil (mudah menguap). Lubang injeksi dipanaskan agar sampel teruapkan dengan cepat.

Aliran gas selanjutnya menemui kolom, kolom berisi suatu padatan halus dengan luas permukaan yang besar dan relatif inert. Sebelum diisi ke dalam kolom, padatan tersebut diimpregnasi dengan cairan yang diinginkan yang berperan sebagai fasa diam atau stasioner sesungguhnya, cairan ini harus stabil dan non volatil pada temperatur kolom dan harus sesuai dengan pemisahan tertentu. Setelah muncul dari kolom itu, aliran gas lewat melalui sisi lain detektor. Maka elusi zat terlarut dari kolom mengatur ketidakseimbangan antara dua sisi detektor yang direkam secara elektrik. Perangkat GC-MS pada dasarnya merupakan paduan perangkat GC, yang berperan untuk memisahkan komponen yang ada dalam suatu sampel, dan perangkat MS yang berperan sebagai detektor. Penggunaan kromatografi gas dapat dipadukan dengan spektroskopi massa. Paduan keduanya dapat menghasilkan data yang lebih akurat dalam pengidentifikasian senyawa yang dilengkapi dengan struktur molekulnya.

Secara sederhana, pemisahan komponen sampel dengan perangkat kromatografi gas ditunjukkan dalam Gambar 4.



**Gambar 4.** Bagian dasar kromatografi gas

Komponen penting dalam kromatografi gas adalah:

1. Tangki pembawa gas yang dilengkapi dengan pengatur tekanan
2. Tempat injeksi sampel
3. Kolom
4. Detektor yang dilengkapi termostat
5. Oven dengan pengatur suhu
6. Bank Data atau Stasiun Data
7. Rekorder atau integrator

Fungsi gas pembawa adalah mengangkut cuplikan dari kolom menuju detektor, gas tersebut haruslah inert dan murni, gas pembawa yang sering digunakan adalah nitrogen, hidrogen, helium, dan argon. Kolom kromatografi terdiri dari tiga bagian yaitu wadah luar, isi kolom yang terdiri dari padatan pendukung dan fasa cairan.

## 2. Analisis *Flash Point Liquid Fuel*

Analisis *flash point* ditentukan untuk mengetahui apakah *liquid fuel* yang dihasilkan memenuhi standar Keputusan Direktorat Jenderal Energi baru, Terbarukan dan Konservasi Energi SNI 7431:2008 untuk layak digunakan sebagai bahan bakar atau tidak. Standar *flash point* untuk bahan bakar adalah min 100 °C. Langkah-langkah untuk analisis *flash point liquid fuel* adalah sebagai berikut :

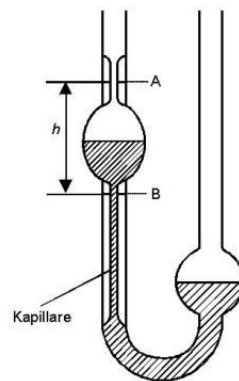
Sampel dimasukkan ke dalam mangkok uji hingga garis batas pengujian, kemudian suhu sampel dan mangkok uji diatur sekitar 18 °C dibawah kisaran perkiraan suhu *flash point* sampel. Mangkok uji ditutup dan cahaya nyala dihidupkan dan diatur intensitasnya (kenaikan suhu diatur sebesar 5 - 6 °C /menit dan sampel diaduk dengan menggunakan alat pengaduk pada kecepatan 90 – 120 rpm), selanjutnya pengadukan dihentikan dan gas pembakar ditambahkan dengan mengoperasikan penutup mangkok uji.

## 3. Analisis Viskositas *Liquid Fuel*

Viskositas merupakan sifat intrinsik zat cair yang menunjukkan resistensi zat cair terhadap aliran. Viskositas zat cair berpengaruh langsung terhadap besarnya penurunan tekanan yang dialami oleh zat cair tersebut. Penurunan tekanan (*pressure drop*) zat cair berkaitan dengan energi pengaliran fluida. Zat cair dengan viskositas tinggi lebih sulit untuk dialirkan dibandingkan dengan zat cair dengan viskositas rendah. Bila energi pengaliran yang tersedia tetap, maka zat cair dengan viskositas tinggi akan mengalir dengan kecepatan lebih rendah. Viskositas standar untuk *liquid fuel* memiliki standar sebesar maksimal 36 cSt



berdasarkan standar Direktorat Jenderal Energi baru, Terbarukan dan Konservasi Energi SNI 7431:2008. Viskositas diukur dengan menggunakan viskometer Ostwald di bawah pengaruh gravitasi pada suhu yang telah ditentukan. Langkah-langkah untuk analisis viskositas *liquid fuel* adalah sebagai berikut : viskometer yang akan digunakan terlebih dahulu dicuci dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C, kemudian viskometer diisi dengan sampel lalu diletakkan di dalam bak (suhu bak viskometer dinaikkan pada 15-100 °C hingga diperoleh kisaran waktu 30 menit). Pada kondisi viskometer telah mencapai kondisi yang diinginkan maka ketinggian sampel dengan kapiler disesuaikan dengan menggunakan pompa hisap hingga melebihi sedikit garis batas (A). Sampel dibiarkan turun serta dihitung waktu sampai tanda batas (B) (waktu yang diukur adalah waktu miniskus untuk melewati waktu dari sasaran pertama (A) menuju waktu sasaran kedua (A)).



**Gambar 5.** Viskometer Ostwald (alat untuk mengukur viskositas)

Pengukuran dilakukan sebanyak tiga 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 mengalir sampel dari batas atas ke batas bawah (s)

#### 4. Analisis Densitas *Liquid Fuel*

Prinsip kerja dari penentuan densitas adalah perbandingan massa contoh tanpa udara pada suhu dan volume tertentu dengan massa air pada suhu dan volume yang sama. Densitas standar untuk liquid fuel berdasarkan Keputusan Direktorat Jenderal Energi baru, Terbarukan dan Konservasi Energi standar SNI 7431:2008 yaitu sebesar  $900\text{-}920 \text{ kg/m}^3$ . Adapun langkah-langkah untuk analisis densitas *liquid fuel* adalah sebagai berikut : piknometer kosong dikeringkan di dalam oven kemudian ditimbang terlebih dahulu, lalu piknometer diisi dengan aquadest suhu  $20^\circ\text{C}$  kemudian disimpan dalam *water bath* pada suhu  $25^\circ\text{C}$  selama 30 menit. Piknometer kemudian diangkat, dikeringkan, dan ditimbang (berat akuades diperoleh dari selisih berat piknometer berisi akuades dan berat piknometer kosong). Pada tahap selanjutnya sampel liquid fuel didinginkan sampai suhu  $20^\circ\text{C}$ , kemudian *liquid fuel* dimasukkan ke dalam piknometer hingga meluap dan tidak terbentuk gelembung udara. Piknometer 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 aquadest (g)

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

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini telah dilakukan selama 6 bulan yaitu dari bulan November hingga Mei 2017 bertempat di Laboratorium Kimia Dasar dan Fungsionalisasi Polimer Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Lampung. Sedangkan analisis produk hasil pirolisis di SMK-SMTI Bandar Lampung, dan Analisis PSA dilakukan di UPT-LTSIT Universitas Lampung. Analisis SEM dilakukan di Universitas Malang, Malang. Analisis XRD di Institut Teknologi Bandung, Bandung. Analisis GC-MS di Universitas Gajah Mada, Yogyakarta dan Analisis XRF di Universitas Negeri Padang, Sumatera Barat.

#### **B. Alat dan Bahan**

##### **1. Alat-alat yang digunakan**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, *Scanning Electron Microscope* (SEM) MA10-14-37 ZEISS EVO, *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Gas Chromatography -Mass Spectroscopy* (GC-MS), *Particle Size Analyzer* (PSA) viskometer, piknometer, *heating mantle*, perangkat

elektrokimia, *magnetic stirrer*, oven, alat vakum, termometer, reaktor pirolisis, pompa air dan peralatan gelas.

## **2. Bahan-bahan yang digunakan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : sekam padi, biji karet, bagas tebu, larutan NaOH 1,5 %, asap cair, n-heksana, akuades, indikator universal, kertas saring, benang nilon dan batangan aluminium.

## **C. Prosedur Penelitian**

### **1. Preparasi Sekam Padi**

Langkah awal dalam penelitian ini adalah preparasi sampel sekam padi.

Sebanyak 100 gram sekam padi direndam dalam air panas selama 30 menit menghilangkan pengotor. Sekam padi kemudian disaring dan dicuci lagi secara berulang dengan cara disiram dengan air panas untuk menghilangkan pengotor organik yang mungkin masih menempel pada sekam padi. Kemudian, sekam padi yang telah bebas dari pengotor dikeringanginkan dan selanjutnya sekam padi siap digunakan untuk ekstraksi silika.

### **2. Ekstraksi Silika dengan Metode Presipitasi**

Metode ekstraksi silika dalam penelitian ini mengadopsi metode ekstraksi yang telah digunakan sebelumnya oleh Daifullah *et al* (2003) dan Pandiangan *et al* (2009). Sebanyak 50 gram sekam padi yang telah bebas dari pengotor bahan organik larut air direndam dalam 500 mL larutan NaOH dengan konsentrasi 1,5%

kemudian dipanaskan sampai mendidih selama 30 menit. Selanjutnya, sampel disaring dan filtrat yang mengandung silika terlarut ditampung. Untuk mengendapkan silika, filtrat kemudian ditambahkan asap cair (Simanjuntak *et al*, 2016) secara bertahap hingga terbentuk endapan silika dalam bentuk gel dan pH pengendapan silika mencapai 7,0. Gel silika kemudian didiamkan (dituakan) selama 24 jam pada suhu kamar. Selanjutnya gel silika disaring dan dicuci dengan akuades panas hingga air cucian bersifat netral. Silika yang diperoleh kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 24 jam dan dihaluskan.

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

Sebanyak 20 gram silika sekam padi hasil ekstraksi dimasukkan ke dalam 600 mL larutan NaOH 1,5% kemudian diaduk menggunakan *hotplate stirer* hingga larut.

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

Sebanyak 600 mL sol silika yang telah dibuat, dimasukkan ke dalam tabung elektrolisis kemudian ditambahkan akuades sebanyak 1,5L dan diaduk.

Selanjutnya sol silika diasamkan dengan larutan HNO<sub>3</sub> 10% secara bertahap hingga pH yang telah ditentukan yaitu 7. Selanjutnya dipasang batangan aluminium sebagai elektroda. Proses elektrolisis dilakukan dengan variasi waktu potensial yaitu 6, 8, 10 dan 12 serta waktu eletrolisis 1, 2 dan 3. Zeolit yang terbentuk selanjutnya dikeringkan pada suhu 110 °C selama 24 jam untuk

menghilangkan air. Zeolit yang diperoleh selanjutnya digerus hingga menjadi bubuk.

## 5. Kalsinasi Katalis

Proses kalsinasi dilakukan dengan menggunakan *furnace* Lento 3508 yang dapat disesuaikan dengan perlakuan yang diinginkan. Kalsinasi katalis zeolit yang berbentuk serbuk dilakukan dengan suhu 600 °C dan suhu 700, 800 dan 900 °C untuk zeolit yang memiliki aktifitas katalitik yang terbaik dan ditahan selama 6 jam untuk dapat memastikan apakah silika masih dalam fasa amorf dan katalis bersifat kristalin.

Berikut ini adalah langkah-langkah penggunaan *furnace* :

1. Sampel disiapkan.
2. Sampel dimasukkan ke dalam tungku pemanas (*furnace*).
3. Alat tungku dihubungkan dengan sumber tegangan, kemudian *setting* alat dalam keadaan hidup atau "ON".
4. Tungku diatur (*setting*) sesuai dengan perlakuan pada sampel.
5. Tungku pemanas dimatikan ketika proses telah selesai.
6. Sampel dikeluarkan dari tungku pemanas.

Sampel dipanaskan dari suhu 25 °C hingga mencapai suhu 600 °C dengan kenaikan suhu 10 °C /menit. Setelah mencapai suhu yang diinginkan, suhu ditahan selama 6 jam (360 menit). Selanjutnya alat *furnace* akan menghentikan pemicu kenaikan dan penahanan suhu, kemudian secara otomatis suhu di dalam *furnace* akan turun kembali secara perlahan hingga mencapai suhu kamar (25 °C).

## **6. Preparasi Biji Karet**

Biji karet dijemur di bawah sinar matahari sampai kering, biji karet yang telah kering potong-potong, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 30 menit. Biji karet yang telah kering dihaluskan menggunakan *blender* hingga halus. Bubuk biji karet dikeringkan kembali dalam oven selama 15 menit pada suhu 100 °C. Kemudian biji karet didinginkan dalam suhu kamar.

## **7. Ekstraksi Minyak Biji Karet**

Sebanyak 100 gram bubuk biji karet kering dibungkus menggunakan kertas saring lalu dimasukkan ke dalam wadah soklet, kemudian sampel disoklet selama 2 jam pada suhu 60 °C dengan pelarut n-heksana sebanyak 100 mL. Hasil soklet kemudian diuapkan sampai minyak dan pelarut terpisah. Minyak yang dihasilkan kemudian diukur volume dan rendemennya.

## **8. Preparasi Bagas Tebu**

Bagas tebu dikeringkan dibawah sinar matahari hingga kering, selanjutnya bagas tebu yang telah kering dicincang hingga ukurannya kecil. Bagas yang telah kecil dikeringkan kembali dalam oven pada suhu 100 °C selama 15 menit. Bagas yang telah kering selanjutnya digiling menggunakan alat penggiling hingga berbentuk serbuk.



## 9. Uji Aktivitas Katalis Zeolit Sintetik

Uji aktivitas katalis zeolit sintetis yang dihasilkan dilakukan dalam proses perengkahan (pirolisis) yang menggunakan bahan baku campuran bagas tebu dan minyak biji karet untuk menghasilkan *liquid fuel*. Pada proses pirolisis ini sebanyak 300 mL minyak biji karet dan 50 gram bagas tebu dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis, kemudian ditambahkan katalis sebanyak 5% dari berat minyak yang digunakan. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 300-380 °C

## 10. Karakterisasi *Liquid Fuel*

### a. Karakterisasi *Liquid Fuel* dengan Kromatografi Gas –Spektrometri Massa (GC-MS)

Karakterisasi *liquid fuel* dilakukan dengan menggunakan alat *Kromatografi Gas – Spektrometri Massa* (GC-MS) QP2010S SHIMADZU dengan kolom AGILENTJ%W DB-1, yang memiliki panjang 30 meter dan diameter dalam 0,25 mm. Analisis digunakan dengan He sebagai gas pembawa dan pengion elektron (EI), suhu kolom 50.0 °C, dan suhu injeksi 300.00 °C. Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi komponen-komponen penyusun *liquid fuel* dan secara khusus untuk melihat apakah semua asam lemak yang terdapat dalam minyak nabati non pangan mampu diubah menjadi fragmen-fragmen hidrokarbon.

### **b. Uji Kualitas *Liquid Fuel***

Produk *liquid fuel* yang dihasilkan pada penelitian ini diuji kualitasnya dengan beberapa parameter, yakni *flash point*, viskositas, dan densitas yang didasarkan pada Keputusan Direktorat Jenderal Energi baru, Terbarukan dan Konservasi Energi standar SNI 7431:2008.

## **11. Karakterisasi Katalis**

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

Karakterisasi dengan XRD dilakukan untuk menganalisis pengaruh suhu kalsinasi terhadap struktur kristalografi sampel aluminosilikat, apakah sampel bersifat amorf atau kristalin. 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 dilekatkan pada sampel *stand* di bagian goniometer.
3. Parameter pengukuran dimasukkan pada *software* melalui computer pengontrol meliputi penentuan *scan mode*, penentuan rentang sudut, kecepatan *scan* cuplikan, member nama cuplikan dan memberi nomor urutan file data.

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

**b. Karakterisasi dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)**

Analisis menggunakan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel dan ukuran partikel. Adapun langkah-langkah dalam uji SEM ini adalah sebagai berikut:

1. Sampel disiapkan dan direkatkan pada spesimen *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-poladium* 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. Karakterisasi dengan *Particle Size Analyzer* (PSA)**

Karakterisasi untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel pada katalis yang diperoleh juga sangat penting untuk dilakukan. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan instrumen *Particle Size Analyzer* (PSA). PSA merupakan salah satu instrumen nanoteknologi yang menggunakan metode *Laser Diffraction* (LAS) dalam aplikasinya. Alat ini menggunakan prinsip *dynamic light scattering* (DLS). Metode ini juga dikenal sebagai *quasi-elastic light scattering* (QELS). Alat ini berbasis *Photon Correlation Spectroscopy* (PCS). PSA yang menggunakan metode LAS dibagi lagi 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. Karakterisasi dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF)**

Analisis menggunakan XRF dimaksudkan untuk mengidentifikasi unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang terkandung dalam zeolit sintetis baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Langkah-langkah dalam uji XRF adalah sebagai berikut:

1. Disiapkan sampel yang akan diuji, apakah sampel berbentuk serbuk, cair, atau padatan.

2. Sampel diletakkan di dalam sampel holder. Pastikan bagian bawah sampel holder tertutupi seluruhnya oleh sampel karena bagian inilah yang akan ditembaki oleh sinar-x.
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.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Hasil percobaan pirolisis campuran minyak biji karet dan bagas tebu menunjukkan bahwa zeolit ( $\text{Zeo}_{6:1}$ ,  $\text{Zeo}_{6:2}$ ,  $\text{Zeo}_{6:3}$ ,  $\text{Zeo}_{8:1}$ ,  $\text{Zeo}_{8:2}$ ,  $\text{Zeo}_{8:3}$ ,  $\text{Zeo}_{10:1}$ ,  $\text{Zeo}_{10:2}$ ,  $\text{Zeo}_{10:3}$ ,  $\text{Zeo}_{12:1}$ ,  $\text{Zeo}_{12:2}$ , dan  $\text{Zeo}_{12:3}$ ) yang dikalsinasi pada suhu 600 °C memiliki aktivitas katalitik.
2. Zeolit sintetik yang memiliki aktivitas katalitik yang terbaik ditunjukkan oleh zeolit yang disintesis dengan potensial 6 V dan waktu elektrolisis 3 jam ( $\text{Zeo}_{6:3}$ ) dan dikalsinasi pada suhu 600 °C dengan persen hidrokarbon 85,58%, *flash point* 110 °C, densitas 0,8876 g/mL dan viskositas 3,8 cSt.
3. Semakin tinggi suhu kalsinasi zeolit, semakin kecil ukuran partikel, semakin banyak pori, dan semakin tinggi kristalinitas.

## **B. Saran**

Beberapa hal yang disarankan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Disarankan untuk melakukan pengujian cetane number untuk mengetahui kelayakan *liquid fuel* sebagai bahan bakar praktis.
2. Disarankan untuk menggunakan perlakuan tambahan untuk mengoptimalkan pembentukan struktur zeolit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abnisa, F., W.M.A.W, Daud,. S. Ramalingam, M.N.B.M., Azemi, and J.N. Sahu. 2013. Co-Pyrolysis of Palm Shell and Polystyrene Waste Mixtures to Synthesis Liquid Fuel. *Fuel*. **108**, 311-318.
- Abnisa, F., W.M.A.W, Daud, and J.N. Sahu. 2011. Optimization and Characterization Studies on Bio-oil Production from Palm Shell by Pyrolysis Using Response Surface Methodology. *Elsevier*. **35**, 3604-3616.
- Akimkhan, A. M. 2012. *Structural and Ion-Exchange Properties of Natural Zeolite*. Liscence in tech.
- Aguado, J., P.D. Serrano, M.J., Escola, and Garagorri. 2002. Catalytic Conversion of Low Density Polyethylene Using a Continuous Screw Kiln Reactor. *Catalysis Today*. **75**, 257-262.
- 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.
- Aristiani, V. 2016. *Preparasi Katalis CaO/SiO<sub>2</sub> dari CaCO<sub>3</sub> dan Silika Sekam Padi dengan Metode Sol Gel untuk Pengolahan Minyak Kelapa Sawit menjadi Biodiesel* (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Astuti, L. 2014. *Kajian Potensi Umbi Talas Taro sebagai Bahan Baku Alternatif untuk Industri Bioetanol*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Ayyad, O.D. 2011. *Novel Strategies The Synthesis of Metal Nanoparticle and Nanostructure* .Thesis. Universitas de Barcelona. Barcelona.
- 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**, 3147-3157.
- Bridgewater, A.V. 1996. Production of high grade fuels and chemicals from catalytic pyrolysis of biomass. *Catalysis Today*. **29**, 285-295.



- Bridgwater, A.V., D. Meier, D. Radlein. 1999. An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic Geochemistry* **30**, 1479 – 1493.
- Bridgewater, A.V., and G.V.C. Peacocke. 2000. Fast Pyrolysis Processes of Biomass. *Renewable and Sustainable Energy Review*. **4**, 1-73.
- Bridgwater, A.V., A.J. Toft, and J.G. Brammer, 2002. A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **6**, 181– 248.
- Bogdanov, B., D. Georgiev., K. Angelova, and Y. Hristov. 2009. Synthetic Zeolites and Their Industrial and Environmental Applications Review. *International Science conference*. Volume IV Natural & Mathematical science.
- Cullity, B. D. 1978. *Elements of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. New Jersey, USA. 84.
- Daifullah, A.A.M, B.S. Girgis, and H.M.H. Gad. 2003. Utilization of Agro residues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans. *Materials Letters*, **57**, 1723-1731.
- Danarto, C.Y., P.B. Utomo, F. Sasmita. 2010. Pirolisis Limbah Kayu dengan Katalisator Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan.*, **B09**, 1-6.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2015. <http://ditjenbun.pertanian.go.id/tanhun>.
- Erdem, E., N. Karapinar, and R. Donat. 2004. The Removal of Metal Cations by Natural Zeolites. *Journal of Colloid and Interface Science*. **280**, 309.
- Földesová, M., P. Hudec, And P. Dillinger. 2007. Chemically Modified Zeolites: Surfaces And Interaction With Cs And Co *Petroleum And Coal*. **49**, 60-63.
- Georgiev, D., B. Bogdanov, K. Angelova, I. Markovska, and Y. Hristov. 2009. Synthetic Zeolites - Structure, Classification, Current Trends In Zeolite Synthesis Review. *Technical Studies*, **7**, 1-5.
- Griffin, B. J. and V.A. Riessen. 1991. *Scanning Electron Microscopy Course Note*. The University of Western Australia. Nedlands. 1-8.
- Hunter, B.A. 1997. *Rietica for 85/98/Nt Version 1.62*. Australia.
- Hugot. E. 1986. *HandBook of cane Sugar Engineering*. Ingggris
- Hrenovi, J., H. Büyükgüngör, and Y. Orhan. 2003. Use of natural zeolite to upgrade activated sludge process. *Food Technology Biotechnol*. 157–165.

- Ikwuagwu, O. E., I.C. Ononogbu, and O.U. Njoku. 2000. Production of biodiesel using rubber [*Hevea brasiliensis* (Kunth. Muell.)] seed oil. *Industrial Crops and Products*. **12**, 57 – 62.
- Joarddder, M. U. H., M.R. Islam, and M.R.A. Beg. 2011. Pyrolysis of Coconut Shell for Bio Oil. *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering (ICME2011)*, Dhaka Bangladesh, 12-20 December 2011.
- 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**, 240-247.
- Kadarwati, S. Susantyo, B. E., Ekowati, D. 2010. Aktivitas Katalis Cr/Zeorit Alam Pada Reaksi Konversi Minyak Jelantah Menjadi Bahan Bakar Cair. Universitas Negeri Semarang, **8**, 9-16.
- Kalapathy, C., A. Proctor, and J. Shultz. 2000. A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Husk Ash, *Bioresource Technology*, **73**, 257–264.
- Korkuna, O., R. Lebeda., J. Skubiszewska-Zieba., T. Vrublevska., V. M. Gunko, and J. Ryczkowski. 2006. Structural and physicochemical properties of natural zeolites: clinoptilolite and mordenite. *Mesopor. Mater.* **87**, 243.
- Kriswarini R., D. Anggraini, dan Noviarty. 2010. *Validasi metoda pengukuran isotop <sup>137</sup>Cs menggunakan spektrometer gamma*. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN: ISSN 1978-0176. 328-333.
- Knothe, G., J.H.V. Gerpen, and J. Krah. 2005. *The Biodisel Handbook*, AOCS Press, Champaign, III.
- Lauw, T. G., Samsudin dan T. Tarwodjo. 1967. Nutritional Value of Ruber Seed Protein. *American Journal of Clinical Nutrition*. **20** (12), 1300–1303.
- Leofanti, G., G.Tozzola, M. Padovan, G. Petrini, S. Bordiga, and A. Zecchina. 1997. Catalyst characterization: applications. *Catalysis. 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*.
- Lima, D.G., V.V C. Soares, E. B. Ribeiro, D.A.Carvalho, E.C.V. Cardoso, F.C. Rassi, K.C. Mundim, J.C. Rubim, and P.A.Z. Suarez. 2004. Diesel-Like Fuel Obtained by Pyrolysis of Vegetable Oils. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. **71**, 987-996.

- Leivo, J. M. Lindén, C.V. Teixeira, J. Puputti, J. Rosenholm, E. Levänen and T.A. Mäntylä. 2006. Sol-gel synthesis of a nanoparticulate aluminosilicate precursor for homogeneous mullite ceramics. *Journal Material. Research*. **21** (5), 1280-1285.
- Manasomboonphan, W. and S. Junyapoon. 2012. Production of Liquid Fuels from Waste Lube Oils Used by Pyrolysis Process. *International Conference on Biomedical Engineering and Technology (IPCBEET)*. **34**, 130-133.
- Meliyana, L. 2015. *Preparasi katalis CaO/SiO<sub>2</sub> dari CaCO<sub>3</sub> dan Silika Sekam Padi dengan Metode Sol Gel untuk Pengolahan Minyak Nabati menjadi Biodiesel*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Mittelbach M, and C. Remschmidt. 2006. *Biodiesel : The Comprehensive Handbook*. Ed ke-3. Austria: Boersdruck Ges.
- Mockovčiakova', A., M. Matik., Z. Orolínová., P. Hudec, and E. Kmecova. 2008. Structural characteristics of modified natural zeolite. *Journal of Porous Materials*. **15** (5), 559-564.
- Nasikin, M., B.H. Susanto, M.A. Hirsaman and A. Wijanarko. 2009. Biogasoline from Palm Oil by Simultaneous Cracking and Hydrogenation Reaction over NiMo/Zeolite Catalyst. *World Applied Sciences Journal 5 (Special Issue for Environment)*, 4-79.
- Nurjannah., A. Roesyadi, dan D.H. Prajitno. 2010. Konversi Katalitik Minyak Sawit Untuk Menghasilkan Biofuel Menggunakan Silika Alumina dan HZSM-5 Sintetis. *Reaktor*, **13** (1), 37-43.
- Pandiangan, K.D., I.G. Suka, M. Rilyanti, S. Widiyanto., A. Dian, A. Syukri, J. Novesar. 2008. Karakteristik Keasaman Katalis Berbasis Silika Sekam Padi yang Diperoleh dengan Teknik Sol-Gel. *Prosiding Seminar Sains dan Teknologi (SATEK II) Universitas Lampung*. 342-353.
- Pandiangan, K.D., W. Simanjuntak, I.G. Suka, J. Novesar. 2009. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. *Metode Ekstraksi Silika Sekam Padi*. P00200900776.
- Pavelic, K., M. Katic., V. Sverko., T. Marotti., B. Bocnjak., T. Balog., R. Stojkovic., M. Radazic., M. Colic, and M. Poljak-Blazi. 2002. Immunostimulatory effect of natural clinoptilolite as a possible mechanism of its antimetastatic ability. *Journal of Cancer Research and. Clinical. Oncology*. **128** (1), 37-44.
- Polat, E., M. Karaca., H. Demir, and A. N. Onus. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal Fruit and Ornamental Plant Research*. **12**, 183-189.

- Putz, H., J.C. Schön, and M. Jansen. 2001. Combined method for *ab initio* structure solution from powder diffraction data. *Journal Applied Crystallography*. **32**, 864–870.
- Prikryl, J.D., and R. T. Pabalan. 1999. Effects of Surfactant Modification on the Sorption Behavior of Natural Zeolites for Strontium(2+) and Uranium(6+). *Material Research Society*. 1035-1042.
- Qi, Z., C Jie, W. Tiejun, and X. Ying. 2007. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy Conversion and Management* **48**, 87–92.
- Ramadhas, A.S., S, Jayaraj, and Muraleedharan. 2005. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Fuel*. **84**, 335-340.
- Rawle, A. 2010. Basic Principles of Particle Size Analysis – Technical Paper of Malvern Instruments. Worcesstershire, United Kingdom.
- Rawle, A. 2012. A Basic Guide to Particle Characterization. *Malvern Instrument Limited*. Malaysia. 1 – 8.
- Richardson, J.T. 1989. *Principles of Catalyst Development*. New York: Plenum Press.
- Sartono, A. A. 2007. Scanning Electron Microscopy (SEM). Universitas Indonesia. Jakarta. 8-12.
- Samsuri, M., M. Gozan, R. Mardias, M. Baiquni, H. Hermansyah, A. Wijanarko, B. Prasetya, dan M. Nasikin. 2007. Pemanfaatan selulosa bagas untuk produksi etanol melalui sakarifikasi dan fermentasi serentak dengan enzim xylanase. *Makara Teknologi*. **11** (1), 17-24.
- Setiadi dan A. Pertiwi. 2007. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi senyawa ABE menjadi Hidrokarbon. *Prosiding Kongres dan Simposium Nasional Kedua MKICS*. ISSN : 0216-4183, 1-4.
- Shadangi and Mohanty. 2013. Thermal and Catalytic Pyrolysis of Karanja Seed to Produce Liquid Fuel. *Fuel*. **7281**, 1-9.
- Sheth, P.N. and B.V. Babu. 2006. Kinetic Modelling of the Pyrolysis of Biomass. *Proceedings of National Conference on Environmental Conservation*. 453-458.
- Sing, K. S. W., D. H. Everett., R. A. W. Haul., L. Moscou., R. A. Pierotti., J. Rouquerol, and Siemieniewska. 1985. Reporting Physisorption Data for

Gas/Solid Systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity. *Pure Applied Chemistry*. **57**, 603-619.

- Simanjuntak, W., S. Sembiring, K. Pandiangan., F. Syani., R.T.M. Situmeang  
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 Chemistry*. **32**, 2079-2085.
- 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-  
 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ . *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. *MIPA*. **37** (1) 47-52.
- Sunardi dan Abdullah. 2007. Konversi Abu Layang Batu Bara Menjadi Zeolit dan  
Pemanfaatannya sebagai Adsorben Merkuri (II). *Sains dan Terapan  
Kimia*. **1** (1), 1 – 10.
- Susanti, L. *Pengembangan Zeolit Sintetik Berbasis Silika Sekam Padi secara  
Elektrokimia sebagai Katalis untuk Pengolahan Minyak Nabati menjadi  
Biodiesel*. (Tesis). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Twaiq, F.A., A.R. Mohamed, and S. Bhatia. 2003. Liquid Hydrocarbon Fuels  
from Palm Oil by Catalytic Cracking Over Aluminosilicate Mesoporous  
Catalyst with Various Si/Al Ratios. *Microporous and Mesoporous  
Materials*. **64**, 95-107.
- Twaiq, F.A., A.R. Mohamed, and S. Bhatia. 2004. Performance of Composite  
Catalyst in Palm Oil Cracking for the Production of Liquid Fuels and  
Chemicals. *Fuel Processing Technology*. **85**, 283-1300.
- 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), 51-60.
- Wittayakun, J., P. Khemthong., S. Prayoonpokarach, and S. Khabuanchalad.  
2008. Transformation of Zeolite NaY Synthesized from Rice Husk Silica to  
NaP during Hydrothermal. *Journal Science. Technology*. **15** (3), 225-231.
- Wongkasemjit, S., M. Sathupunya, and Gulari. 2002. ANA and GIS zeolite  
synthesis directly from alumatrane and silatrane by sol-gel process and

microwave technique. *Journal of the European Ceramic Society*. **22**, 2305–2314.

- Yelmida, I. Z., dan F. Akbar. 2012. *Perengkahan PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) Dengan Katalis Zeolit Sintetis Untuk Menghasilkan Biofuel*. Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan. **9** (1) 45-50.
- Yuanita, D. 2010. Hidrogenasi Katalitik Metil Oleat Menjadi Stearil Alkohol Menggunakan Katalis Ni/Zeolit Alam. *Prosiding Seminar Nasional Kimia UNY*.
- Zarkovic, N., K. Zarkovic., M. Kralj., S. Borovic., S. Sabolovic., M. Poljak-Blazi., A. Cipak, and K. Pavelic. 2003. Anticancer and Antioxidative Effects of Micronized Zeolite Clinoptilolite. *Anticancer-Research*. **23** (2B), 1589-1595.