

**STUDI PIROLISIS MINYAK BIJI JARAK KALI KI MENGGUNAKAN
PREKURSOR ZEOLIT BERBASIS SILIKA SEKAM PADI
SEBAGAI KATALIS**

(Skripsi)

**Oleh
YUDHA ARI SATRIA**



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

STUDI PIROLISIS MINYAK BIJI JARAK KALIKI MENGGUNAKAN PREKURSOR ZEOLIT BERBASIS SILIKA SEKAM PADI SEBAGAI KATALIS

Oleh

YUDHA ARI SATRIA

Pirolisis minyak jarak kaliki menggunakan prekursor zeolit sebagai katalis telah dipelajari dalam penelitian ini. Prekursor zeolit dibuat dari sol silika dan logam aluminium menggunakan metode elektrokimia dengan variasi potensial: 8, 10, dan 12 volt, serta variasi waktu: 1, 2, dan 3 jam, lalu dikalsinasi pada suhu 600°C. Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi nisbah Si/Al rendemen *liquid fuel* yang diperoleh semakin besar. *Liquid fuel* dianalisis menggunakan GC-MS, kandungan hidrokarbon tertinggi diperoleh menggunakan katalis Pre-Zeo_{8:1} yang dikalsinasi pada suhu 800°C dengan kandungan hidrokarbon sebesar 85,97%. Karakterisasi XRD menunjukkan bahwa Pre-Zeo_{8:1} dengan suhu kalsinasi 600°C didominasi oleh fasa amorf, namun pada suhu kalsinasi 800 dan 900°C terdapat fasa kristalin berupa *albite* dan *crystalite* yang menunjukkan bahwa sampel belum menjadi zeolit sehingga dianggap sebagai prekursor zeolit. Karakterisasi SEM menunjukkan bahwa Pre-Zeo_{8:1} memiliki morfologi permukaan yang heterogen, pada suhu kalsinasi 600°C belum tampak adanya pori-pori pada permukaan katalis. Spektrum FTIR menunjukkan bahwa Pre-Zeo_{8:1} mengandung situs asam Brønsted-Lowry. Karakterisasi fisik menunjukkan bahwa viskositas *liquid fuel* hasil pirolisis minyak jarak kaliki telah memenuhi syarat berdasarkan SNI 7431-2008.

Kata kunci: *pirolisis, minyak jarak kaliki, prekursor zeolit, metode elektrokimia*

ABSTRACT

STUDY ON PYROLYSIS OF CASTOR OIL USING ZEOLITE PRECURSOR BASED ON RICE HUSK SILICA AS CATALYST

By

YUDHA ARI SATRIA

Pyrolysis of castor oil using zeolite precursor as catalyst was studied. Zeolite precursor was prepared from rice husk silica sol and aluminium metal by electrochemical method using different potentials of 8, 10, and 12 volt, and reaction times of 1, 2, and 3 hours, to produce the samples with different Si/Al ratios. The samples were then calcined at 600°C, and tested as catalyst. The results show that the higher the Si/Al ratio of the catalyst, the higher the yield of the reaction. Liquid fuel was analyzed by GC-MS, and revealed that the liquid fuel with the highest hydrocarbon content was obtained using Pre-Zeo_{8:1} calcined at 800°C with hydrocarbon content of 85.97%. The results of XRD characterization show that Pre-Zeo_{8:1} with calcination temperature of 600°C was dominated by amorphous phase, but at higher temperatures of 800 and 900°C, the crystalline phases of albite and cristobalite were detected. However, complete formation of zeolite was not displayed by the results. SEM characterization shows that Pre-Zeo_{8:1} has heterogeneous surface morphology, and the existence of the sample as porous material with the porosity influenced by the calcination temperatures. FTIR spectrum shows that Pre-Zeo_{8:1} contains Brønsted-Lowry acid site. The physical characterization indicates that the viscosity of liquid fuel obtained fulfilled the requirement for viscosity based on SNI 7431-2008.

Keywords: *pyrolysis, castor oil, zeolite precursor, electrochemical method*

**STUDI PIROLISIS MINYAK BIJI JARAK KALIKI MENGGUNAKAN
PREKURSOR ZEOLIT BERBASIS SILIKA SEKAM PADI
SEBAGAI KATALIS**

**Oleh
YUDHA ARI SATRIA**

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS

Pada
Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : **STUDI PIROLISIS MINYAK BIJI JARAK
KALIKI MENGGUNAKAN PREKURSOR
ZEOLIT BERBASIS SILIKA SEKAM PADI
SEBAGAI KATALIS**

Nama Mahasiswa : **Yudha Ari Satria**

No. Pokok Mahasiswa : 1317011079

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

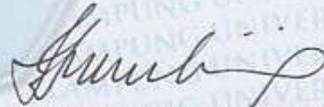


MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



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



Dr. Zipora Sembiring, M.S.
NIP 19590106 198603 2 001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

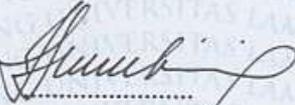


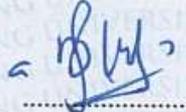
Dr. Eng. Supto Dwi Yuwono, M.T.
NIP 19740705 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

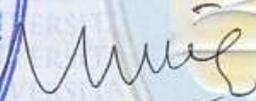
Ketua : **Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.** 

Sekretaris : **Dr. Zipora Sembiring, M.S.** 

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Mita Rilyanti, M.Si.** 

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **04 Desember 2017**

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Yudha Ari Satria, lahir di Yukum Jaya pada tanggal 26 Mei 1994, merupakan anak kedua dari pasangan suami istri Bapak Susiharyo dan Ibu Fatimah.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Buyut Udik Lampung Tengah pada tahun 2006, SMP Negeri 2 Kotagajah lulus pada tahun 2009. Penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas pada tahun 2010 di SMA Negeri 1 Kotagajah lulus pada tahun 2013 dan mulai tahun 2013 hingga penulisan skripsi ini, penulis melanjutkan ke pendidikan tinggi di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selain belajar dibangku kuliah, penulis juga aktif berorganisasi. Organisasi yang pernah diikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Universitas Lampung sebagai Keder Muda Himaki tahun 2013-2014, anggota bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi pada tahun 2014-2015, dan kepala Bidang Sosial Masyarakat pada tahun 2015-2016.

Pada tahun 2015 penulis mewakili Universitas Lampung sebagai finalis dalam Olimpiade Sains Nasional Pertamina katagori Science Project Se-Regional Asia Tenggara. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Kimia Dasar tahun 2016 untuk mahasiswa Budidaya Perairan dan Perikanan, Teknik Geofisika dan Kimia angkatan 2015 serta praktikum Kimia Fisik untuk mahasiswa Kimia angkatan 2014 dan Teknologi Hasil Pertanian angkata 2016.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawab kepada :

*Orang tuaku,
Bapak Susiharyo, Bapak Pawiron, Ibu Fatimah, Ibu Sunaini,
dan Mama Chika yang telah memberikan cinta kasih,
dukungan, dan doa untukku.*

*Kakak-Kakak Ku
Nur Fitriana Sari dan Selvia Damayanti*

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

Orang terkasih, Sahabat, Kerabat, dan Teman.

Almamater Tercinta

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.”

(QS. Al-Insyirah,6-8)

SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, karunia dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. *Sholawat* serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya yang selalu taat mengamalkan ajaran dan sunnahnya. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia FMIPA Unila. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan kedua kakak penulis yang selalu memberi cinta kasih, motivasi, dukungan, dan doa untuk penulis.
2. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku pembimbing pertama penelitian dan pembimbing akademik atas segala bimbingan, motivasi, bantuan, nasihat, dan saran hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.S. selaku pembimbing Kedua penelitian atas bimbingan, bantuan, nasihat, dan saran hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini
4. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Pembahas atas segala saran dan kritik yang sangat membangun dalam penulisan skripsi ini
5. Bapak Dr. Eng Suropto Dwi Yuwono., M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.

6. Bapak Prof. Warsito, S.Si., DEA, Ph.D. selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Segenap staf pengajar dan karyawan khususnya Jurusan Kimia dan FMIPA Universitas Lampung pada umumnya.
8. *Partner* penelitian penulis; Antonius Wendy, Gesa Gustami Pangesti, Hernora Adis, Veronika Netty, Yunitri Sianturi, dan Hermayana yang selalu membantu, menasehati dan memberikan motivasi kepada penulis.
9. Rekan-rekan di Laboratorium Polimer, Kimia Fisik Jurusan Kimia FMIPA Unila; Kak Hanif, Kak Yusri, Kak Ferdinand, Mbak Dila, Mbak Gege, Mbak Agus, Mbak Fenti, Mbak Debo, dan Mbak Ruli atas semangat, saran, dan bantuan yang diberikan. Terimakasih untuk kebersamaan yang telah dilalui selama ini.
10. Keluarga kimia 2013 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terimakasih atas kebersamaan dalam melalui hari demi hari dalam kehidupan kampus yang sulit untuk dilalui sendiri.
11. Pemimpin Himaki FMIPA Unila periode kepengurusan 2015 -2016 atas segala dukungan dan doa kepada penulis.
12. Keluarga besar Meong Gede: Kak Slam, Kak Dani, Kak Yahya, Kak Rio, Kak Juned, Kak Nicho, Kak Yusri, Kak Arik, dan Kak Revi yang telah membantu, mendukung, dan memberi saran atas segala keluh kesah penulis.
13. Tya Gita Putri Utami, terima kasih atas segala doa, dukungan, motivasi, saran, kritik, nasihat, dan bantuannya hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

14. Teman-teman SIGMA yang selalu memberikan motivasi kepada penulis:
Yogo, Anggit, Taufiq, dan Wahyu. Semoga selalu diberi kemudahan dalam segala urusan.
15. Himaki FMIPA Unila yang telah memberikan pengalaman yang luar biasa kepada penulis.
16. Kakak dan adik tingkat penulis; kimia angkatan 2009, 2010, 2016, 2012, 2014 dan 2015.
17. Semua Pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Atas segala kebaikan yang telah diberikan, semoga Allah SWT membalasnya dengan pahala yang berlipat ganda, Aamiin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, namun penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi rekan – rekan khususnya mahasiswa kimia dan pembaca pada umumnya.

18.
Bandar lampung, 4 Desember 2017

Yudha Ari Satria

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	
A. LatarBelakang	1
B. Tujuan Penelitian	4
C. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. BahanBakarCairTerbarukan.....	6
B. Pirolisis.....	8
C. Minyak Jarak Kaliki	12
D. Katalis	13
E. Zeolit	14
1. Zeolit Alam	16
2. Zeolit Sintetik.....	17
F. Silika Sekam Padi	18
G. Elektrokimia.....	20
H. Karakterisasi Zeolit	22
1. <i>X-Ray Diffarction (XRD)</i>	22
2. <i>Scanning Electron Microscope(SEM)</i>	25
3. <i>X-Ray Fluorescence(XRF)</i>	27
4. <i>Fourier Transform InfraRed(FTIR)</i>	28
I. Karakterisasi <i>Liquid Fuel</i>	30
1. Analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry(GC-MS)</i>	30
2. Karakteristik Fisik	32
a. Densitas	32
b. Viskositas	32
c. Titik Nyala (<i>Flash Point</i>)	33

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian	34
B. Alat dan Bahan	34
1. Alat – Alat yang Digunakan.....	34
2. Bahan – Bahan yang Digunakan	35
C. Prosedur Penelitian.....	35
1. Preparasi Minyak Jarak Kaliki	35
2. Pembuatan Larutan NaOH 1,5% dan HNO ₃ 10%	35
3. Preparasi Sekam Padi	36
4. Ekstraksi Silika Sekam Padi.....	36
5. Pembuatan Sol Silika Sekam Padi	37
6. Pembuatan Katalis dengan Metode Elektrokimia	37
7. Kalsinasi Katalis.....	38
8. Karakterisasi Katalis	38
a. Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	38
b. Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	39
c. Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	40
d. Karakterisasi <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR).....	41
9. Uji Reaksi Perengkahan	41
10. Karakterisasi <i>Liquid Fuel</i>	42

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preparasi Minyak Biji Jarak Kaliki	43
B. Ekstraksi Silika dari Sekam Padi	44
C. Pembuatan Zeolit Sintetik dari Serbuk Silika Sekam Padi dan Logam Aluminium dengan Metode Elektrolisis	46
D. Uji Reaksi Perengkahan	48
E. Karakterisasi <i>Liquid Fuel</i>	50
1. Analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	50
2. Karakteristik Fisik <i>Liquid Fuel</i>	60
F. Karakterisasi Katalis	61
1. Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	61
2. Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	64
3. Karakterisasi <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR).....	66

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan.....	70
B. Saran.....	71

DAFTAR PUSTAKA	72
----------------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik minyak jarak kaliki.....	12
2. Contoh zeolit alam	16
3. Rumus oksida beberapa jenis zeolit sintetik	18
4. Massa precursor zeolit yang dihasilkan dengan variasi potensial dan waktu	46
5. Nisbah Si/Al precursor zeolit yang dihasilkan dengan variasi potensial dan waktu.....	47
6. Rendemen <i>liquid fuel</i> menggunakan katalis prekursor zeolit yang dikalsinasi pada suhu 600°C	49
7. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak jarak kaliki non-katalis	51
8. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak jarak kaliki dengan katalis Pre- Zeo _{8:1} 600°C	52
9. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak jarak kaliki dengan katalis Pre- Zeo _{10:1} 600°C.....	53
10. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak jarak kaliki dengan katalis Pre- Zeo _{12:1} 600°C	54
11. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak jarak kaliki dengan katalis Pre- Zeo _{8:1} 700°C	56

12. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak jarak kalikidengankatalis Pre-Zeo _{8:1} 800°C	57
13. Komponen <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak jarak kalikidengankatalis Pre-Zeo _{8:1} 900°C	59
14. Karakteristik fisik <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis minyak jarak kaliki	60
15. Nilai keasaman Pre-Zeo _{8:1}	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Unit bangun dasar zeolit	15
2. Contoh struktur kerangka zeolit	15
3. Mekanisme sintesis zeolit dengan metode elektrokimia	21
4. Mekanisme sintesis zeolit	21
5. Pola difraksi Bragg	24
6. Skema alat <i>Scanning Electron Microscope</i>	27
7. Reaktor elektrokimia	37
8. Reaktor pirolisis	42
9. Preparasi buah jarak kaliki	44
10. Proses ekstraksi silika sekam padi	45
11. Uji aktivitas zeolit	49
12. Kromatogram <i>liquid fuel</i> non-katalis	50
13. Kromatogram <i>liquid fuel</i> dengan katalis Pre-Zeo _{8:1} 600°C	51
14. Kromatogram <i>liquid fuel</i> dengan katalis Pre-Zeo _{10:1} 600°C	52
15. Kromatogram <i>liquid fuel</i> dengan katalis Pre-Zeo _{12:1} 600°C	53
16. Komposisi komponen penyusun <i>liquid fuel</i>	54
17. Kromatogram <i>liquid fuel</i> dengan katalis Pre-Zeo _{8:1} 700°C	56
18. Kromatogram <i>liquid fuel</i> dengan katalis Pre-Zeo _{8:1} 800°C	57

19. Kromatogram <i>liquid fuel</i> dengan katalis Pre-Zeo _{8:1} 900°C	58
20. Komposisi komponen penyusun <i>liquid fuel</i> dengan variasi suhu kalsinasi	59
21. Difraktogram sinar-X katalis Pre-Zeo _{8:1} 600°C	62
22. Difraktogram sinar-X katalis Pre-Zeo _{8:1} 800°C	62
23. Difraktogram sinar-X katalis Pre-Zeo _{8:1} 900°C	63
24. Mikrograf Pre-Zeo _{8:1} 600°C	64
25. Mikrograf Pre-Zeo _{8:1} 800°C	65
26. Mikrograf Pre-Zeo _{8:1} 900°C	65
27. Spektrum FTIR Pre-Zeo _{8:1}	68
28. Ilustrasi interaksi situs asam Brønsted-Lowry pada Pre-Zeo _{8:1}	69

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Krisis energi yang sedang dihadapi saat ini merupakan dampak dari ketersediaan bahan bakar fosil yang menipis, sedangkan kebutuhan akan energi terus meningkat. Berdasarkan data dari *British Petroleum* (2015) produksi minyak mentah Indonesia mengalami penurunan dari 1.130.000 barel/hari pada tahun 2004 menjadi 852.000 barel/hari pada tahun 2014. Hal ini berbanding terbalik dengan konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) dalam kurun waktu yang sama, yang mengalami peningkatan dari 1.299.000 barel/hari menjadi 1.641.000 barel/hari. Pemenuhan kebutuhan energi yang tergantung pada bahan bakar berbasis minyak bumi yang bersifat tidak terbarukan menjadi masalah yang harus segera dicari solusinya. Untuk mengatasi masalah tersebut, pengembangan sumber energi alternatif dan terbarukan sangat giat dilakukan salah satunya adalah *liquid fuel*.

Liquid fuel merupakan bahan bakar cair yang diperoleh dari bahan baku organik melalui proses perengkahan (pirolisis). Prinsip dasar pirolisis adalah proses perengkahan molekul organik yang kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Metode pirolisis telah diterapkan untuk mengolah minyak nabati menjadi *liquid fuel*

diantaranya minyak kelapa (Napitupulu, 2012), minyak goreng bekas (Baharta, 2006), minyak kelapa sawit (Masuda *et al.*, 2001; Twaiq *et al.*, 2003; Nasikin *et al.*, 2009; Wijnarko dkk, 2006; Nurjanah dkk, 2010) , dan minyak jarak pagar (Warastuti, 2013).

Salah satu minyak nabati yang belum banyak dikembangkan menjadi *liquid fuel* adalah minyak jarak kaliki (*Ricinus communis L*). Tanaman ini dapat tumbuh di seluruh wilayah Indonesia, yang saat ini belum banyak dibudidayakan dan menjadi tanaman liar. Asam lemak yang terkandung dalam minyak jarak kaliki adalah asam risinoleat (89,5%), asam linoleat (4,2%), asam oleat (3%), asam stearat (1%), asam palmitat (1%), asam dehidroksistearat (0,7%), asam linolenat (0,3%) dan asam eiskosanoat (0,3%) (Hemant *et al.*, 2011). Berdasarkan kandungan tersebut , minyak jarak kaliki merupakan bahan baku yang potensial menjadi *liquid fuel* melalui pirolisis.

Pirolisis pada umumnya dilakukan pada rentang suhu 500-800°C (Akhtar *and* Amin, 2012), sehingga digunakan katalis dalam proses pirolisis. Dalam proses pirolisis katalis berkerja dengan cara menurunkan energi. Beberapa katalis yang telah digunakan dalam proses pirolisis antara lain NiO/ -Al₂O₃ (Nugraha dkk, 2013), Ni/ZSM-5 (Akbar dan Sunarmo, 2013), faujasit (Nguyen *et al.*, 2013), dolomit (Jahirul *et al.*, 2012) dan dan zeolit sintetis dengan perbandingan Si/Al yang berbeda. Zeolit sintetis telah digunakan sebagai katalis dalam pirolisis beberapa bahan baku diantaranya adalah minyak nabati (Mediasari, 2015), cangkang sawit (Sunarno dan Yenti, 2013) dan sekam padi (Jeon *et al.*, 2012).

Dalam penelitian ini penggunaan zeolit sintetis didasarkan pada unjuk kerjanya dalam proses dan hasil pirolisis yang dilakukan. Zeolit sintetis dibuat dari silika sekam padi dan logam aluminium dengan metode elektrokimia. Penggunaan silika sekam padi didasarkan oleh ketersediaannya yang melimpah dan mudah dipisahkan dari sekam. Menurut data BPS Provinsi Lampung tahun 2015, sebanyak 3.641.895 ton per tahun padi dihasilkan dari daerah ini dimana sekitar 20% padi terdiri dari sekam. Dalam penelitian sebelumnya (Simanjuntak *et al.*, 2016) melakukan penelitian kandungan silika dalam sekam padi dengan hasil 18-20%, sehingga diperoleh sebanyak 131.108-145.675 ton silika tiap tahun di Provinsi Lampung. Silika sekam padi memiliki kelarutan yang tinggi dalam larutan alkalis, sehingga dapat diperoleh dengan metode ekstraksi dengan larutan NaOH atau KOH (Kalaphaty *et al.*, 2000; Daifullah *et al.*, 2002; Pandiangan dkk., 2008; Pandiangan dkk., 2009; Agung dkk, 2013). Silika sekam padi juga mampu bereaksi dengan zat lain seperti Fe, Ni, Ti, Al, Co, Cu dan Zn untuk menghasilkan material berbasis silika, karena merupakan silika amorf dan bersifat reaktif (Suka dkk, 2008).

Dikaitkan dengan potensi dan sifat silika sekam padi di atas, dalam penelitian ini digagas untuk membuat zeolit sintetis dengan metode elektrokimia. Metode elektrokimia memiliki beberapa keuntungan yakni prosesnya yang mudah dan sederhana, dikaitkan dari segi bahan baku alumina yang dihasilkan dari proses elektrolisis jauh lebih murah dibandingkan bahan baku alumina lainnya seperti aluminium nitrat.

Prinsip dasar pembuatan zeolit sintetis dengan metode elektrokimia adalah, elektrolisis logam aluminium yang ditempatkan dalam sol silika sekam padi. Dalam proses ini, logam aluminium akan teroksidasi menjadi kation Al^{3+} , yang akan terlarut secara merata dalam sol silika. Dengan demikian, diharapkan akan diperoleh produk yang sangat homogen. Metode elektrokimia juga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan zeolit sintetis dengan komposisi (nisbah Si/Al) yang berbeda melalui penerapan potensial dan waktu elektrolisis yang berbeda. Dalam penelitian ini potensial yang digunakan, yakni 8, 10 dan 12 V serta waktu yang digunakan, yakni 1, 2, dan 3 jam. Selain itu dalam penelitian ini juga dipelajari pengaruh suhu kalsinasi pada zeolit sintetis yang digunakan, yakni 600, 700, 800, dan 900°C selama 6 jam. Dengan demikian, hubungan komposisi dan karakteristik zeolit sintetis yang dihasilkan secara elektrokimia dengan aktivitasnya sebagai katalis untuk pirolisis minyak jarak kali ini dapat diketahui.

B. Tujuan Penelitian

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

1. Membuat zeolit sintetis dengan nisbah Si/Al yang berbeda dengan penggunaan potensial dan waktu elektrolisis yang berbeda.
2. Mengetahui hubungan antara nisbah Si/Al zeolit sintetis dengan unjuk kerjanya sebagai katalis untuk pirolisis.

3. Mengetahui karakteristik zeolit sintetik dengan unjuk kerja terbaik serta menghubungkan dengan reaktivitasnya sebagai katalis dalam proses pirolisis minyak jarak kaliki untuk menghasilkan *liquid fuel*.
4. Mendapatkan *liquid fuel* dengan kualitas terbaik yang sesuai dengan SNI-7431:2008.

C. Manfaat Penelitian

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

1. Menambah ketersediaan katalis untuk mendukung pengembangan teknologi pirolisis.
2. Meningkatkan ketersediaan sumber energi terbarukan dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Bahan Bakar Cair Terbarukan

Pengembangan sumber energi alternatif terbarukan adalah suatu gagasan yang saat ini terus dikembangkan dengan tujuan untuk mengatasi semakin menipisnya cadangan sumber energi fosil yang merupakan sumber energi utama dalam memenuhi kebutuhan energi saat ini. Sumber energi alternatif pada umumnya berasal berasal dari bahan baku yang dapat terbarukan sehingga ketersediaannya terjamin untuk pemakaian jangka panjang. Salah satu sumber energi alternatif yang terus dikembangkan adalah bahan bakar cair.

Dalam konteks energi terbarukan bahan bakar cair meliputi tiga jenis utama yakni biodiesel, bioetanol, dan minyak nabati. Bioetanol merupakan etanol yang dihasilkan dari gula reduksi dengan metode fermentasi. Bahan baku yang paling banyak digunakan adalah ubi kayu (Collares *et al.*, 2012), jagung (Nicoli *et al.*, 2010), gandum (Perez *et al.*, 2007), dan sorgum (Herrera *et al.*, 2003). Berkaitan dengan bahan baku tersebut harus dipertimbangkan karena merupakan komoditas pertanian yang dimanfaatkan sebagai bahan pangan, sehingga tidak mungkin digunakan sepenuhnya untuk industri bioetanol. Untuk mengatasi masalah tersebut, pengembangan yang dilakukan adalah memanfaatkan karbohidrat yang berukuran lebih besar, misalnya pati (Arnata dan Anggraeni, 2013), selulosa

(Samsuri dkk, 2007), dan hemiselulosa (Rengel, 2007). Meskipun secara prinsip masalah dengan bahan baku dapat diatasi, namun dalam praktiknya masih terdapat beberapa kendala dalam produksi bioetanol. Penggunaan karbohidrat non-gula reduksi memerlukan perlakuan hidrolisis untuk mengubah karbohidrat tersebut menjadi gula reduksi yang selanjutnya dapat difermentasi. Proses fermentasi memerlukan mikroba dan substrat tambahan pendukung pertumbuhan mikroba agar menghasilkan enzim yang cukup. Selain itu, fermentasi juga memerlukan waktu yang relatif panjang, yakni mencapai 72 jam untuk menghasilkan bioetanol secara optimal.

Persaingan antara penggunaan sebagai bahan pangan dan sebagai sumber energi terbarukan juga dihadapi dalam industri biodiesel, karena hingga sekarang masih menggunakan minyak kelapa dan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku meskipun pemanfaatan minyak nabati non-pangan terus diteliti secara intensif. Kendala lain dalam proses pembuatan biodiesel dengan transesterifikasi memerlukan metanol (Padil dan Amir, 2010; Meliyana, 2015; Aristiani, 2015), memerlukan asam/basa dan terbentuknya produk samping berupa sabun, serta memerlukan pemisahan produk biodiesel yang dihasilkan dengan katalis (Putri dkk, 2012). Sehingga proses pembuatan biodiesel disamping memerlukan waktu yang lama juga dalam aspek ekonomis cukup mahal.

Berbeda dengan biodiesel dan bioetanol, minyak nabati sebagai bahan bakar terkendala oleh karakteristik minyak nabati itu sendiri. Minyak nabati mempunyai viskositas yang tinggi antara 30 sampai 50 cSt pada temperatur 40°C dibanding minyak solar yang mempunyai viskositas 2 sampai 5 cSt pada 40°C.

Perbedaan viskositas yang cukup tinggi tidak baik pada atomisasi bahan bakar dari minyak nabati. Dalam pemanfaatannya secara langsung sebagai bahan bakar, viskositas minyak nabati harus diturunkan. Tingginya viskositas pada minyak nabati disebabkan oleh kandungan trigliserida dan asam lemak yang memiliki rantai hidrokarbon panjang tak jenuh. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menurunkan viskositas minyak nabati adalah pirolisis. Melalui pirolisis diharapkan terjadi pemutusan rantai karbon pada trigliserida dan asam lemak tak jenuhnya, sehingga viskositas minyak nabati akan turun dengan semakin pendeknya rantai hidrokarbon.

B. Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia dari biomassa dalam suasana oksigen terbatas atau tanpa oksigen yang berlangsung pada suhu 400-650°C. Proses dekomposisi biomassa ini menghasilkan senyawa yang lebih sederhana, berupa gas atau zat cair, dan padatan yang dikenal sebagai *biochar*. Komposisi produk pirolisis umumnya dipengaruhi sejumlah faktor antara lain, waktu dan suhu pirolisis serta laju pemanasan (Dickerson *and* Soria, 2013).

Pada awal perkembangannya, metode pirolisis memiliki kelemahan yaitu produksi yang lambat, menghasilkan energi yang rendah, dan polusi udara yang berlebihan. Oleh karena itu, teknologi dikembangkan untuk mencapai hasil pirolisis yang maksimum. Pirolisis bukanlah satu-satunya teknologi konversi yang independen, tetapi juga bagian dari proses gastrifikasi dan pembakaran (Gronli *et al.*, 2002),

yang terdiri dari degradasi termal dari bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas dan cair tanpa perantara oksidasi.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Fisher *et al.*, 2002 menjelaskan bahwa, proses pirolisis dari bahan organik sangatlah kompleks dan terdiri dari reaksi yang simultan dan suksesif ketika bahan organik dipanaskan dalam atmosfer non-reaktif. Dalam proses ini, dekomposisi termal dari komponen organik dalam biomassa dimulai pada 350°C-550°C dan terus meningkat hingga 700°C-800°C tanpa adanya oksigen. Senyawa rantai panjang karbon, hidrogen, dan oksigen dipecah menjadi molekul yang lebih kecil dalam bentuk gas, uap yang terkondensasi (tar dan minyak), dan residu padat berada di bagian bawah pirolisis.

Dalam praktiknya, proses pemanasan dapat dilangsungkan dengan tiga cara dan berdasarkan cara tersebut, pirolisis dibedakan menjadi *slow pyrolysis*, *fast pyrolysis*, dan *flash pyrolysis*:

1. *Slow pyrolysis*

Slow pyrolysis dilakukan pada laju pemanasan kurang dari 100°C/menit. Produk utama yang dihasilkan selama *slow pyrolysis* adalah *char* dan *bio oil*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Gercel, 2011), tentang pirolisis minyak bunga matahari dengan cara *slow pyrolysis* menghasilkan *bio oil* sebesar 24-43% dan *char* sebesar 34-63% pada suhu 500°C dengan laju pemanasan 7°C/menit. Dari penelitian lain diperoleh *bio oil* dengan rendamen maksimum sebesar 21,98% pada suhu 500°C dengan laju pemanasan sebesar 30°C/menit (Ucar and Karagoz, 2009). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *slow pyrolysis* kurang efisien dalam menghasilkan *liquid fuel*.

2. *Fast pyrolysis*

Fast pyrolysis adalah proses dimana bahan baku dengan cepat dipanaskan sampai 450-600°C tanpa oksigen atau udara. Dengan kondisi tersebut dihasilkan uap, gas, dan arang selama proses pirolisis. Uap dikondensasi menjadi *bio oil* dengan rendamen sebesar 60-75%. Karakter dasar dari *fast pyrolysis* adalah transfer panas yang tinggi dan laju pemanasan tinggi, waktu penguapan yang singkat, cepat mendinginkan uap, dan kontrol presisi dari suhu reaksi (Venderbosch and Prins, 2010; Chiaramonti *et al.*, 2003).

3. *Flash pyrolysis*

Flash pyrolysis merupakan proses pirolisis yang berlangsung sangat cepat dengan temperatur yang lebih tinggi dari *fast pyrolysis* (Chhiti and Kemiha, 2013). *Flash pyrolysis* adalah proses yang menjanjikan untuk produksi bahan bakar padat, cair, dan gas dari biomassa yang dapat mencapai hingga 75% dari hasil *liquid fuel* (Demirbas, 2000). Proses ini ditandai dengan devolatilisasi yang cepat dalam suasana inert, laju pemanasan, dan suhu reaksi yang tinggi antara 450-1000°C dan waktu tinggal gas yang sangat singkat (kurang dari 1 s) (Aguado *et al.*, 2002). Namun demikian proses ini memiliki beberapa keterbatasan teknologi, misalnya: stabilitas termal yang rendah, sifat korosif dari produk cair, padatan tersuspensi dalam zat cair, peningkatan viskositas akibat pembentukan *char*, pemekatan alkali dalam *char* yang terlarut dalam produk cair, dan produksi air secara pirolitik (Cornelissen *et al.*, 2008). Disamping itu, *flash pyrolysis* memerlukan perangkat yang lebih mahal dari dua cara yang lain, sehingga pemanfaatannya untuk produksi *liquid fuel* sangat terbatas.

Dalam praktiknya diketahui bahwa proses pirolisis telah dilakukan menggunakan berbagai jenis reaktor, yang paling umum digunakan adalah:

1. *Fluidized bed reactor*

Fluidized bed reactor adalah jenis reaktor kimia yang dapat digunakan untuk mereaksikan bahan ke dalam banyak fase. Reaktor jenis ini menggunakan fluida (cair atau gas) yang dialirkan melalui katalis dengan kecepatan yang cukup sehingga katalis akan tersuspensi sedemikian rupa dan akhirnya katalis tersebut dapat dianalogikan sebagai fluida juga. Proses ini dinamakan fluidisasi yang memiliki lebih banyak keuntungan dibandingkan *fixed bed reactor* sehingga mulai banyak diterapkan dalam dunia industri. Jenis reaktor ini telah digunakan oleh Jung *et al.*, (2008), yang meneliti pengolahan jerami padi menjadi bahan bakar cair dengan suhu pirolisis 415-540°C dan dihasilkan produk dengan suhu optimal 440-500°C.

2. *Fixed bed reactor*

Fixed bed reactor adalah jenis reaktor kimia dengan suatu pipa silindrikal yang dapat diisi dengan partikel-partikel katalis. Selama operasi, gas atau *liquid* atau keduanya akan melewati pipa dan partikel-partikel katalis, sehingga akan terjadi reaksi. *Fixed bed reactor* adalah reaktor yang dalam prosesnya mempunyai prinsip kerja pengontakan langsung antara zat yang akan dipirolisis dengan partikel-partikel katalis. *Fixed bed reactor* biasanya digunakan untuk umpan (pereaktan) yang mempunyai viskositas kecil. Nurjanah dkk, (2010) melaporkan pirolisis minyak sawit dengan reaktor *fixed bed* pada temperatur 350-500°C dan laju alir gas N₂ 100-160 mL/menit selama 120 menit. Hasil pirolisis dianalisa dengan metode gas kromatografi. Hasil yang diperoleh untuk katalis HZSM-5

fraksi gasolin dengan *yield* tertinggi 28,87%, kerosin 16,70% dan diesel 12,20% pada suhu reaktor 450°C dan laju gas N₂ 100 mL/menit. Dengan menggunakan reaktor yang sama (Lima *et al.*, 2004) melakukan pirolisis minyak jarak kaliki dengan menggunakan katalis zeolit HZSM-5 pada rentang suhu antara 350-400°C, destilat hasil pirolisis yang diperoleh pada suhu <80, 80-140, 140-200, >200°C berturut-turut sebanyak 10, 10, 20, dan 60% berat.

C. Minyak Jarak Kaliki

Minyak jarak kaliki atau lebih dikenal dengan *castor oil* dapat diperoleh dengan mengekstrak biji jarak kaliki. Kandungan minyak dalam biji jarak kaliki sebesar 42-54,4% (Armendariz *et al.*, 2015). Asam lemak yang terkandung dalam minyak jarak kaliki adalah asam risinoleat (89.5%), asam linoleat (4.2%), asam oleat (3%), asam stearat (1%), asam palmitat (1%), asam dehidroksistearat (0.7%), asam linolenat (0.3%) dan asam eiskosanoat (0.3%) (Hemant *et al.*, 2011).

Karakteristik minyak jarak kaliki adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik minyak jarak kaliki (Scholz *and* da Silva, 2008)

Parameter	Satuan	Minyak Jarak Kaliki
Densitas	Kgm ⁻³	950-974
<i>Flash point</i>	°C	229-260
Viskositas	mm ² s ⁻¹	240-300
Angka setana	-	42
Angka iod	g 100g ⁻¹	82-90

Berdasarkan komponen yang terkandung, minyak jarak kaliki sangat cocok digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan *liquid fuel* dengan pirolisis.

Selain itu minyak jarak kaliki merupakan minyak non-pangan, sehingga terbebas dari masalah praktis karena tidak ada persaingan dengan kebutuhan pangan.

D. Katalis

Katalis merupakan zat yang mampu meningkatkan laju suatu reaksi kimia sehingga pembentukan produk yang diinginkan dapat terjadi lebih cepat. Dalam suatu reaksi kimia sebenarnya katalis ikut terlibat, tetapi pada akhir reaksi katalis akan terbentuk kembali. Katalis mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi, sehingga reaksi berlangsung lebih mudah. Penurunan energi aktivasi tersebut terjadi akibat dari interaksi antara reaktan dan katalis yang berperan menyediakan situs aktif bagi berlangsungnya reaksi.

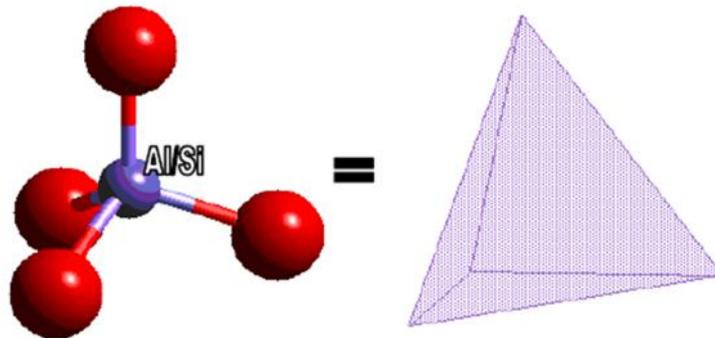
Berdasarkan penggunaannya, katalis dapat dibedakan ke dalam dua golongan utama, yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang mempunyai fase sama dengan zat yang dikatalisis. Biasanya katalis homogen adalah asam, basa, serta kompleks logam yang larut dalam medium reaksi. Katalis homogen dapat digunakan pada suhu dan tekanan rendah serta biasanya spesifik untuk reaksi tertentu. Untuk reaksi dalam pembuatan *liquid fuel*, katalis homogen yang umum digunakan adalah H_2SO_4 dan NaOH (Guru *et al.*, 2008), kompleks $\text{In}(\text{OTf})_3$ (Damanik, 1997). Namun penggunaan katalis homogen terdapat beberapa kelemahan yakni membutuhkan waktu reaksi yang cukup lama dan pemisahan produk sangat sulit sehingga dibutuhkan perlakuan khusus untuk memisahkannya. Sehingga dalam penelitian ini digagas menggunakan katalis heterogen.

Katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisisnya. Umumnya katalis heterogen berupa zat padat yang terdiri dari logam atau oksida logam sebagai situs aktif yang ditopangkan pada zat padat lain. Kelebihan katalis heterogen diantaranya ketahanan terhadap reaksi bersuhu tinggi, persen konversi yang besar, dan dapat digunakan berulang-ulang. Berbagai jenis katalis heterogen telah dikembangkan antara lain adalah - alumina (Wijanarko dkk, 2006), Pd/C (Duan *and* Savage, 2011; Choi *et al.*, 2014), alumunium silikat (Twaiq *et al.*, 2003), Cr/zeolit (Kadarwati dkk, 2010), HZSM-5 (Xiao *et al.*, 2006; Vitolo *et al.*, 2001; Lima *et al.*, 2004, Nurjanah dkk, 2010; Yelmida dkk, 2012). Dari berbagai katalis yang telah dikembangkan, zeolit sintetik merupakan jenis katalis yang paling banyak dimanfaatkan, inilah yang menjadi dasar gagasan untuk membuat zeolit sintetik dalam penelitian ini.

E. Zeolit

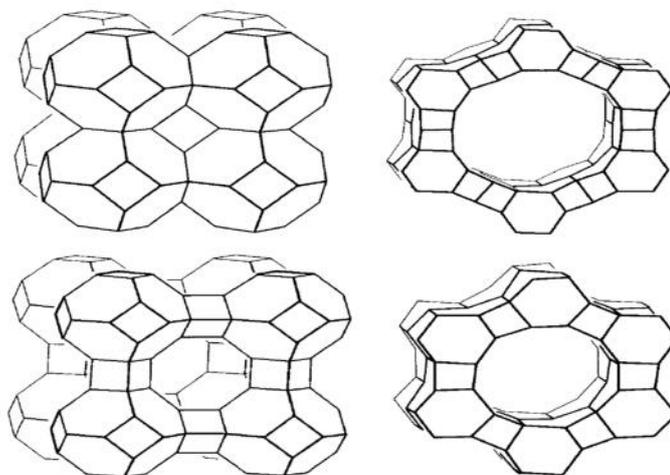
Zeolit menurut J.V Smith pada tahun 1984 adalah mineral dengan struktur kristal alumina silikat yang berbentuk rangka tiga dimensi, mempunyai rongga dan saluran serta mengandung ion-ion logam seperti Na, K, Mg, Ca, dan Fe serta molekul air. Pertama kali zeolit ditemukan oleh seorang ahli mineralogi asal Swedia bernama Axel Frederick Cronstedt pada tahun 1756. Mineral yang ditemukan akan dengan cepat melepaskan air bila dipanaskan dan seolah-olah mendidih. Sehingga mineral alam ini dinamakan zeolit yang dalam bahasa Yunani berarti batu mendidih (*zeo*: mendidih dan *lithos*: batu).

Umumnya, kerangka zeolit dapat dibangun dengan menghubungkan pola periodik unit bangunan dasar (*Primary building unit*) yaitu tetrahedral. Ditengah tetrahedra adalah atom dengan elektronegativitas yang relatif rendah seperti Si^{4+} dan Al^{3+} dan sudut-sudutnya adalah atom O seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Unit bangun dasar zeolit tetrahedral (Suminta, 2006)

Selanjutnya unit bangun dasar tetrahedral ini membentuk cincin yang disebut unit bangun kedua (*Secondary building unit*), unit bangun kedua ini saling berhubungan untuk membentuk berbagai polihedra, yang pada akhirnya terhubung untuk membentuk kerangka perluasan yang tak terbatas dari struktur kristal zeolit yang terbatas.



Gambar 2. Contoh struktur kerangka zeolit (McCusker and Baerlocher, 2007)

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

1. Zeolit Alam

Zeolit alam ditemukan dalam bentuk mineral dengan komposisi yang berbeda, terutama dalam nisbah Si/Al dan jenis logam yang menjadi komponen minor. Komposisi kimia dan sifat dari zeolit alam ini banyak dipengaruhi oleh kondisi hidrotermal lingkungan sekitar seperti temperatur, tekanan uap air, dan komposisi air tanah di lokasi pembentukan zeolit alam. Sehingga dapat ditemukan zeolit alam yang berbeda komposisi kimia yang berbeda dengan zeolit alam dari lokasi lain meskipun warna dan teksturnya sama. Contoh zeolit alam yang banyak ditemukan disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Contoh zeolit alam (Subagio, 1993)

No	Zeolit Alam	Komposisi
1	Kabasit	$(Na_2, Ca)_6(Al_{12}Si_{24}O_{72}).40H_2O$
2	Klipnotilolit	$(Na_4K_4)(Al_8Si_{40}O_{96}).24H_2O$
3	Analsim	$Na_{16}(Al_{16}Si_{32}O_{96}).16H_2O$
4	Heulandit	$Ca_4(Al_8Si_{28}O_{72}).24H_2O$
5	Erionit	$(Na, Ca_5K)(Al_9Si_{27}O_{72}).27H_2O$
6	Ferrierit	$(Na_2Mg_2)(Al_6Si_{30}O_{72}).18H_2O$
7	Natrolit	$Na_4(Al_4Si_6O_{20}).4H_2O$
8	Laumonit	$Ca(Al_8Si_{16}O_{48}).16H_2O$
9	Mordenit	$Na_8(Al_8Si_{40}O_{96}).24H_2O$
10	Filipsit	$(Na, K)_{10}(Al_{10}Si_{22}O_{64}).20H_2O$
11	Wairali	$Ca(Al_2Si_4O_{12}).12H_2O$

Di Indonesia ditemukan beberapa jenis zeolit alam tersebar di berbagai daerah antara lain di daerah Kalianda Lampung, Bayah Banten, Nanggung Bogor, Cikembar Sukabumi, Nagreg Bandung, Cipatujah Tasikmalaya, dan Sangkaropi Toraja (Adriany, 2012).

Dikaitkan dengan fungsinya sebagai katalis, zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg, dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Adanya pengotor ini dapat mengurangi aktivitas zeolit sebagai katalis. Untuk memperbaiki karakter zeolit alam, biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu (Mocková *et al.*, 2008).

2. Zeolit Sintetik

Zeolit sintetik merupakan hasil rekayasa melalui proses kimia yang dibuat secara laboratorium ataupun dalam skala industri dan memiliki sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Sifat zeolit sintetik sangat tergantung dari jumlah komponen Si dan Al. Oleh sebab itu, zeolit sintetik dikelompokkan menjadi tiga jenis berdasarkan nisbah Si/Al dalam zeolit sintetik, yakni:

- a) Zeolit sintetik dengan kadar Si rendah: zeolit ini banyak mengandung Al, berpori mempunyai nilai ekonomi yang tinggi karena efektif untuk pemisahan atau pemurnian dengan kapasitas besar, contohnya adalah zeolit A dan X.
- b) Zeolit sintetik dengan kadar Si sedang: zeolit ini mempunyai nisbah Si/Al 1-3. Kerangka tetrahedral dari zeolit jenis ini tidak stabil terhadap asam dan panas, contoh dari zeolit ini adalah zeolit omega (), zeolit Y, dan zeolit L.

- c) Zeolit sintetik dengan kadar Si tinggi: zeolit ini sangat higroskopis dan mudah menyerap molekul non polar sehingga baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon, contoh zeolit ini yakni, ZSM-5.

Berbagai zeolit sintetik telah dihasilkan seiring dengan perkembangan penelitian terhadap zeolit sintetik, beberapa diantaranya disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Rumus oksida beberapa jenis zeolit sintetik (Georgiev, 2009)

Jenis Zeolit	Rumus Oksida
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	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 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	$(\text{R}, \text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4-6\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Prinsip dasar produksi zeolit sintetik adalah komponennya yang terdiri dari silika dan alumunium. Berdasarkan komposisi tersebut, berbagai penelitian untuk menghasilkan zeolit sintetik telah dilakukan dan difokuskan pada dua aspek, yakni bahan baku dan metode preparasi. Pada penelitian ini pembuatan zeolit sintetik digagas menggunakan bahan baku silika dari sekam padi dan logam aluminium dengan metode elektrolisis.

F. Silika Sekam Padi

Pemanfaatan sekam padi sebagai sumber silika dalam pembuatan zeolit sintetik didukung oleh beberapa fakta yang relevan. Padi merupakan komoditas utama

diberbagai daerah di Indonesia, khususnya di Provinsi Lampung, menurut data yang diperoleh Biro Pusat Statistik Provinsi Lampung tahun 2015 menunjukkan bahwa daerah ini menghasilkan padi sekitar 3.641.895 ton per tahun. Sekitar 20% gabah terdiri dari sekam (Daifullah *et al.*, 2002), sehingga dari produksi padi akan dihasilkan 728.379 ton sekam. Hasil penelitian menunjukkan sekam padi mengandung 18-20% silika (Simanjuntak *et al.*, 2016) sehingga potensi silika yang dapat dihasilkan dari sekam di Provinsi Lampung berkisar antara 131.108-145.675 ton.

Silika sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika mineral, yaitu mudah didapatkan dari sekam padi dengan biaya cukup murah (Cao *et al.*, 2013; Fadilah, 2015), butirannya halus, lebih reaktif serta ketersediaan bahan baku yang melimpah, dan dapat diperbaharui. Sembiring dkk (2009) menyatakan bahwa silika dari sekam padi dapat diperoleh dengan cara ekstraksi atau dengan pengabuan. Agung dkk (2013) melakukan ekstraksi silika dari abu sekam padi menggunakan pelarut KOH dengan beberapa variasi konsentrasi dan menggunakan variasi waktu, hasil silika terbesar yang didapat pada KOH 10% dan waktu 90 menit sebesar 50,49%.

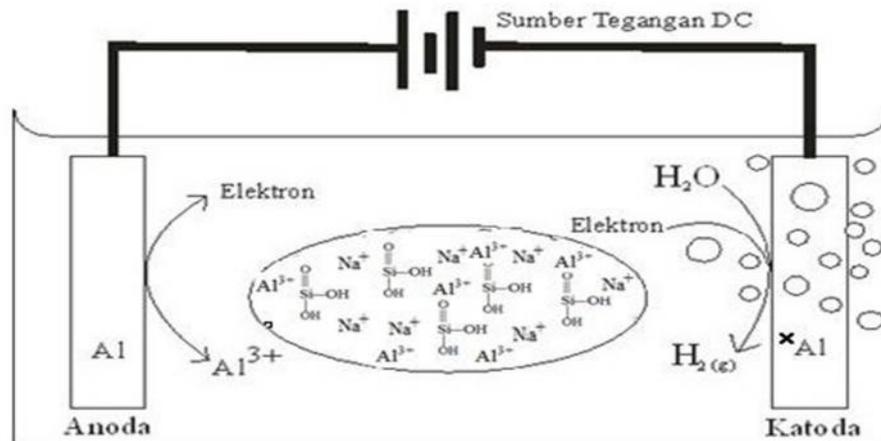
Suka dkk (2008) berhasil melakukan karakterisasi silika dari sekam padi Provinsi Lampung yang diperoleh dengan menggunakan metode ekstraksi. Preparasi yang dilakukan adalah dengan merendam sekam padi selama 2 jam dan dicuci berulang kali dengan air panas untuk menghilangkan pengotor organik (selulosa, lignin, dan hemiselulosa). Sekam padi yang telah bersih direndam dengan KOH 5% selama 60 menit dan filtrat yang dihasilkan diasamkan dengan HCl hingga pH

mencapai 7,0. Dari hasil karakterisasi yang dilakukan dengan FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi siloksan yang ditandai dengan adanya puncak Si-OH dan Si-O-Si. Hal ini didukung dengan hasil karakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) yang menunjukkan bahwa silika adalah amorf dengan fase kristobalit. Komponen lain yang terkandung dalam sekam padi berdasarkan karakterisasi dengan EDX meliputi O, Na, Mg, Al, Si, K, dan Ca. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kadar silika dari sekam padi yang diekstraksi mencapai 40,8% dengan kemurnian 95,53%.

G. Elektrokimia

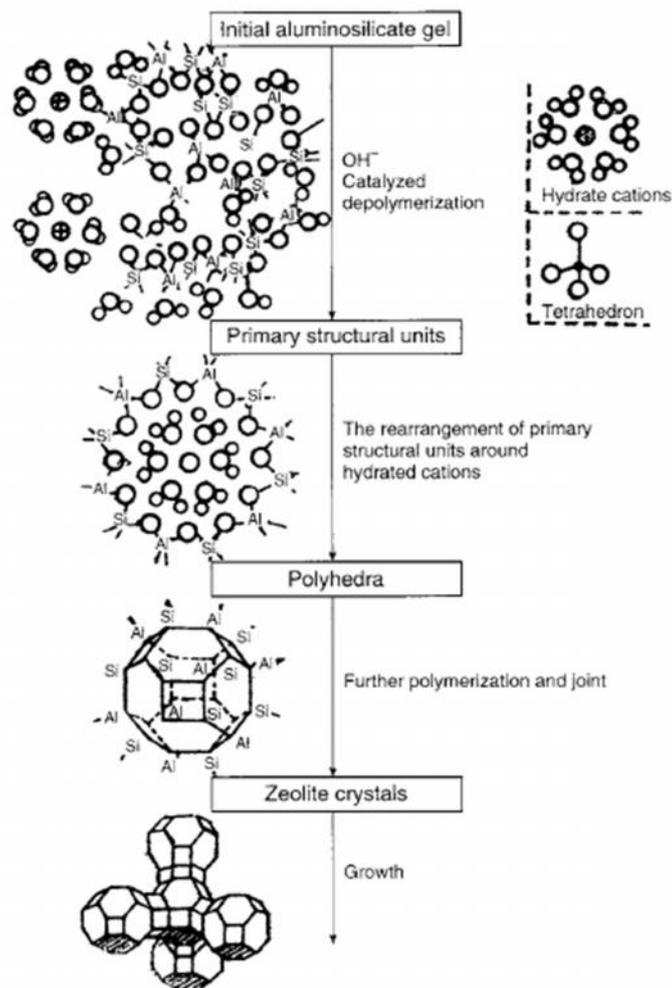
Elektrolisis adalah proses penggunaan energi listrik menjadi energi kimia. Dalam proses elektrolisis, larutan yang dihasilkan tidak hanya menghantarkan arus listrik, melainkan juga mengalami perubahan kimia. Perubahan kimia yang terjadi selama proses elektrolisis mudah dilihat di sekitar elektroda, walaupun perubahan ini hanya berupa penguraian sederhana (Svehla, 1985).

Pembuatan zeolit sintetik dengan metode elektrokimia pada prinsipnya didasarkan pada reaksi elektrokimia yang melibatkan oksidasi logam aluminium yang ditempatkan dalam sol silika. Secara garis besar, proses yang berlangsung ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme sintesis zeolit dengan metode elektrokimia (Syani, 2014)

Mekanisme sintesis zeolit hingga membentuk struktur kerangka, ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme sintesis zeolit (Yu, 2007)

Metode elektrokimia untuk pembuatan zeolit sintetik merupakan metode yang sangat menarik karena menawarkan sejumlah keunggulan dibanding dengan metode konvensional yang sudah umum digunakan. Dari sisi proses, memungkinkan reaksi yang selektif tanpa pengaturan temperatur dan penambahan reagen mahal. Selain itu reaksi yang terjadi dapat dikontrol dengan mengatur variabel elektrokimia yang diterapkan, antara lain kuat arus, potensial pH, dan waktu untuk mendapatkan zeolit dengan komposisi yang berbeda. Dari sisi bahan baku, proses elektrokimia dapat diterapkan pada silika yang dapat larut, misalnya silika sekam padi yang dapat larut dalam larutan alkali. Dari sisi karakteristik, zeolit sintetik yang dihasilkan memiliki homogenitas tinggi karena reaksi yang berlangsung dengan metode elektrosintesis merupakan reaksi dalam tingkat molekuler.

H. Karakterisasi Zeolit

1. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Teknik *X-Ray Diffraction (XRD)* berperan penting dalam proses analisis padatan kristal maupun amorf. XRD adalah metode karakterisasi lapisan yang digunakan untuk mengetahui senyawa kristal yang terbentuk. Teknik XRD dapat digunakan untuk analisis struktur kristal karena setiap unsur atau senyawa memiliki pola tertentu. Metode difraksi sinar-x merupakan metode analisis kualitatif yang sangat penting karena kristalinitas dari material pola difraksi serbuk yang karakteristik, oleh karena itu metode ini disebut juga metode sidik jari serbuk

(*powder fingerprint method*). Penyebab utama yang menghasilkan bentuk pola-pola difraksi serbuk tersebut, yaitu (a) ukuran dan bentuk dari setiap selnya, (b) nomor atom dan posisi atom-atom di dalam sel (Smallman, 2000).

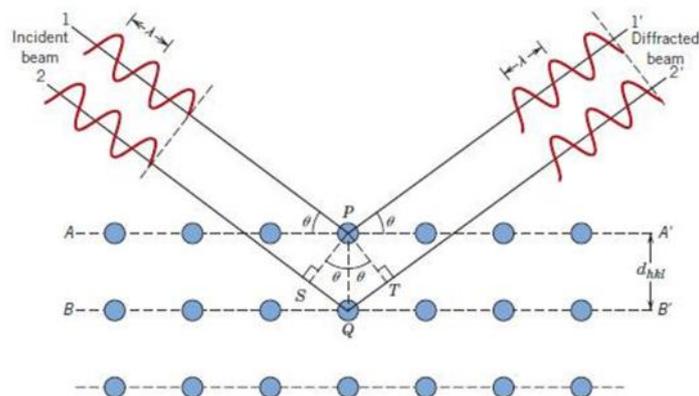
Difraksi merupakan penyebaran atau pembelokan gelombang pada saat gelombang melewati penghalang. Sinar-x merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antara $0,5 \text{ \AA}$ – $2,5 \text{ \AA}$ dan memiliki energi foton antara $1,2 \times 10^3 \text{ eV}$ – $2,4 \times 10^5 \text{ eV}$ yang dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron energi tertinggi. Dengan karakteristik tersebut sinar-x mampu menembus zat padat sehingga dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal. Hamburan sinar ini dihasilkan bila suatu elektron logam ditembak dengan elektron-elektron berkecepatan tinggi dalam tabung hampa udara.

Peristiwa pembentukan sinar-x dapat dijelaskan yaitu pada saat menumbuk logam, elektron yang berasal dari katoda (elektron datang) menembus kulit atom dan mendekati kulit inti atom. Pada waktu mendekati inti atom, elektron ditarik mendekati inti atom yang bermuatan positif, sehingga lintasan elektron berbelok dan kecepatan elektron berkurang atau diperlambat. Karena perlambatan ini, maka energi elektron berkurang. Energi yang hilang ini dipancarkan dalam bentuk sinar-X. Proses ini terkenal sebagai proses *bremstrahlung*.

Apabila suatu berkas sinar-x monokromatis dilewatkan pada suatu bahan maka akan terjadi penyerapan dan penghamburan berkas sinar oleh atom-atom dalam bahan tersebut. Berkas sinar-x yang jatuh akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena keteraturan letak atom-atom, pada arah-arrah tertentu gelombang

hambur itu akan berinterferensi konstruktif (mengalami penguatan), sedang yang lainnya akan mengalami interferensi destruktif (saling menghilangkan).

Berkas difraksi diperoleh dari berkas sinar-x yang mengalami interferensi konstruktif. Bragg menyatakan bahwa interferensi konstruktif hanya terjadi antar sinar terhambur dengan beda jarak lintasan tepat λ , 2λ , 3λ dan sebagainya. Rancangan skematik spektrometer sinar-x yang didasarkan pada analisis Bragg ditunjukkan pada Gambar 5. Seberkas sinar-x terarah jatuh pada kristal dengan sudut θ dan sebuah detektor diletakkan untuk mencatat sinar yang sudut hamburnya sebesar 2θ . Ketika θ diubah, detektor akan mencatat puncak intensitas yang bersesuaian dengan orde- n yang divisualisasikan dan difraktogram.



Gambar 5. Pola Difraksi Bragg

Gambar 5 menunjukkan seberkas sinar mengenai kisi pada bidang pertama dan pada bidang berikutnya. Jarak antara bidang kisi adalah d , sedangkan θ adalah sudut difraksi. Berkas-berkas tersebut mempunyai panjang gelombang λ , dan jatuh pada bidang kristal dengan jarak d dan sudut θ . Agar mengalami interferensi konstruktif, kedua berkas tersebut harus memiliki beda jarak $n\lambda$. Sedangkan beda jarak lintasan kedua berkas adalah $2d \sin \theta$. Persamaan ini

dikenal dengan hukum Bragg. Pemantulan Bragg dapat terjadi jika $2d \sin \theta = n\lambda$, dengan n adalah bilangan bulat (1, 2, 3,...).

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

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

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

Metode XRD banyak digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan besarnya bagian fase padatan, film tipis, dan sampel multi fasa. Salah satu alat XRD yang biasa digunakan adalah Siemen D5000 yang menggunakan radiasi Cu-K radiation. Tabung X-ray dioperasikan pada 40 kV dan 30 mA.

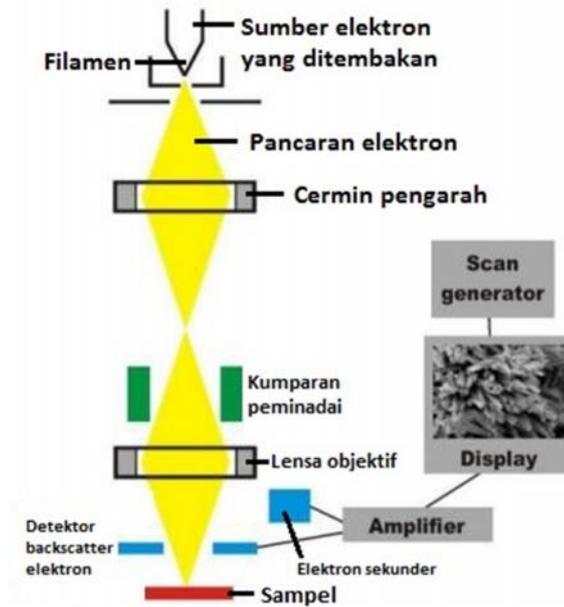
2. Scanning Electron Microscope (SEM)

Untuk melakukan karakterisasi material yang heterogen pada permukaan bahan pada skala mikrometer atau bahan submikrometer serta menentukan komposisi unsur sampel secara kualitatif maupun kuantitatif dapat dilakukan dengan menggunakan satu perangkat alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pada

SEM dapat diamati karakteristik bentuk, struktur , serta distribusi pori pada permukaan bahan (Amrulloh, 2014).

Komponen utama SEM terdiri dari dua unit, *electron column* dan *display console*. *Electron colomn* merupakan model *electron beam scanning*. Sedangkan *display console* merupakan elektron sekunder yang di dalamnya terdapat CRT. Pancaran elektron energi tinggi dihasilkan oleh *electron gun* yang kedua tipenya berdasar pada pemanfaatan arus. Yang pertama pistol termionik dimana pancaran elektron tercapai dengan pemanasan tungsten atau filament pada suhu 1500K sampai 3000K.

Prinsip kerja alat ini adalah sumber elektron dari *filament* yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Jika elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (*specimen*) maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. *Scanning* pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur *scanning generator* dan *scanning coils*. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan *specimen* ditangkap oleh detektor *Secondary Electron* (SE) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh *amplifier* dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (CRT) (Smallman, 2000). Skema dasar SEM disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema alat *Scanning Electron Microscope* (Smallman, 2000)

Setiap jumlah sinar yang dihasilkan dari CRT dihubungkan dengan jumlah target, jika terkena berkas elektron berenergi tinggi dan menembus permukaan target, karena terjadi ionisasi atom dari cuplikan padatan. Elektron bebas ini tersebar keluar dari aliran sinar utama, sehingga tercipta lebih banyak elektron bebas, dengan demikian energinya habis lalu melepaskan diri dari target. Elektron ini kemudian dialirkan ke unit demagnifikasi dan dideteksi oleh detektor dan selanjutnya dicatat sebagai suatu foto.

3. *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 dengan sinar-X berenergi tinggi.

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

4. *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*

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

Prinsip dasar dari analisis spektrofotometri IR adalah penyerapan radiasi elektromagnetik oleh gugus-gugus fungsi tertentu, sehingga dari spektrum serapan yang terbaca mampu mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada suatu senyawa. Bila sinar inframerah dilewatkan melalui sebuah cuplikan, maka sejumlah frekuensi diserap oleh cuplikan tersebut dan frekuensi lainnya diteruskan atau ditransmisikan tanpa adanya penyerapan. Hubungan antara persen absorptansi dengan frekuensi maka akan dihasilkan sebuah spektrum inframerah (Hardjono, 1990).

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

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

Lewis ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang sekitar 1440-1452 cm^{-1} (Platon *and* Thomson, 2003).

I. Karakterisasi *Liquid Fuel*

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

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

Dalam GC-MS, sampel yang diinjeksikan ke dalam perangkat GC akan dipisahkan menjadi komponen-komponen tunggal berdasarkan bobot molekul, dimana komponen dengan molekul terkecil akan keluar dari kolom terlebih dahulu. Komponen yang sudah terpisah selanjutnya dialirkan ke dalam perangkat spektrometri massa, dimana akan berlangsung beberapa tahapan. Tahap pertama adalah ionisasi untuk mengubah senyawa induk menjadi kation. Tahap ini berlangsung dengan cara memanaskan sampel hingga melebihi titik didihnya sehingga berubah menjadi gas. Gas selanjutnya dialirkan ke dalam ruang ionisasi, dimana partikel sampel tersebut akan ditembak dengan elektron berenergi tinggi sehingga salah satu elektron dari molekul sampel terlepas dan mengubah molekul

menjadi bermuatan positif. Kemungkinan lain adalah pecahnya molekul menjadi fragmen bermuatan positif dengan m/z yang lebih kecil (McLafferty, 1988).

Ion positif yang keluar dari ruang ionisasi kemudian akan melewati tiga celah. Dimana pada celah pertama ion akan dikenakan tegangan 1000 Volt sampai melewati celah ketiga dengan tegangan 0 Volt. Celah kedua merupakan celah yang memiliki tegangan diantara 1000-0 Volt. Semua ion yang melalui celah ini akan dipercepat untuk mendapatkan berkas yang fokus. Ion positif yang bergerak cepat tersebut selanjutnya akan dibelokkan dengan medan magnet. Pembelokan ini menyebabkan adanya pemisahan fragmen ion sesuai dengan nilai m/z , dimana ion dengan m/z yang kecil (ringan) akan mengalami pembelokan yang lebih kuat dibandingkan ion yang berat. Setelah ion-ion dipisahkan berdasarkan nilai m/z , maka selanjutnya akan diteruskan ke detektor sehingga menghasilkan signal yang dicatat oleh sebuah rekorder dan ditampilkan dalam bentuk spektrum.

Dalam praktiknya, sekarang tersedia sistem kepastakaan senyawa berdasarkan analisis GC-MS, dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi komponen dalam sebuah sampel dengan cara membandingkan spektrum massa sampel dengan spektrum massa standar yang ada dalam sistem kepastakaan. Sejumlah besar senyawa sudah dirangkum dalam suatu sistem kepastakaan yang sudah tersedia dalam bentuk perangkat lunak komputer, diantaranya sistem kepastakaan Willey229 LIB dan Nist12 LIB. Dengan bantuan sistem kepastakaan ini identifikasi senyawa dalam suatu sampel dapat dilakukan dengan membandingkan spektrum MS dari sampel dengan spektrum MS senyawa yang sudah ada dalam sistem kepastakaan (Aristiani, 2015).

2. Karakteristik Fisik

Selain komponen kimia, kelayakan *liquid fuel* juga dianalisis berdasarkan beberapa parameter fisik. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7431:2008, beberapa parameter fisik sebagai acuan kelayakan *liquid fuel* untuk digunakan adalah: densitas, viskositas, angka setana, dan titik nyala.

a. Densitas

Densitas adalah suatu angka yang menyatakan perbandingan berat terhadap volume dari bahan bakar minyak pada temperatur yang sama. Karakteristik ini sangat berhubungan erat dengan nilai panas kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan bahan bakar yang digunakan. Cara pengukuran densitas dapat dilakukan dengan menggunakan piknometer. Densitas yang disarankan untuk *liquid fuel* berdasarkan SNI 7431:2008 yaitu 900-920 kg/m³.

b. Viskositas

Viskositas adalah suatu nilai yang menyatakan besarnya hambatan aliran suatu bahan cair. Viskositas disebabkan adanya gaya kohesi atau gaya tarik menarik antara molekul sejenis. Pengukuran viskositas suatu cairan dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain, metode bola jatuh, silinder konsentrik, metode *plate and cone*, piringan sejajar, dan metode kapilaritas (Hananto *et al.*, 2011).

Semakin tinggi viskositas, makin kental maka semakin sukar bahan cair untuk mengalir (Wardan dan Zainal, 2003). Viskositas merupakan parameter penting dalam menentukan baku mutu suatu bahan bakar. Pada dasarnya, bahan bakar harus memiliki viskositas yang relatif rendah agar mudah mengalir dan teratomisasi. Jika harga viskositas terlalu tinggi maka akan menyebabkan gesekan di dalam pipa akan semakin besar, kerja pompa akan berat, penyaringannya sulit, dan kemungkinan besar kotoran ikut terendap, serta sulit mengabutkan bahan bakar (Dyah, 2011). Viskositas yang disarankan untuk *liquid fuel* berdasarkan SNI 7431:2008 yaitu maksimum $36 \text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt).

c. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak didekatkan pada nyala api. Titik nyala ini diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala yang disarankan untuk *liquid fuel* berdasarkan SNI 7431:2008 yaitu minimal 100°C .

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Februari hingga Juli 2017, bertempat di Laboratorium Kimia Fisik/Anorganik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Karakterisasi *liquid fuel* menggunakan GC-MS dilakukan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Karakterisasi katalis menggunakan XRD dilakukan di Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong; menggunakan XRF dilakukan di Universitas Negeri Padang; menggunakan SEM dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung; dan menggunakan FTIR dilakukan di Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

B. Alat dan Bahan

1. Alat-Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: alat *press* minyak, perangkat elektrokimia, perangkat pirolisis, penangas, *magnetic stirrer*, oven, *thermometer*, saringan, dan peralatan gelas, *Scanning Electron Microscope*

(SEM) FEI Inspect-S50, *X-Ray Diffraction* (XRD) PAN Analytical E'xpert Pro, *X-Ray Fluorescence* (XRF) PAN Analytical Epsilon 3, *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) 820 IPC SHIMADZU, *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) QP2010S SHIMADZU, viskometer, dan piknometer.

2. Bahan-Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: sekam padi, larutan NaOH 1,5%, larutan HNO₃ 10%, akuades, indikator pH, kertas saring, batang aluminium, dan biji jarak kaliki.

C. Prosedur Penelitian

1. Preparasi Minyak Jarak Kaliki

Buah jarak dijemur hingga kering, kemudian dipisahkan bijinya. Biji jarak diekstraksi dengan mesin *press*, hasil *press* kemudian disaring untuk memisahkan minyak dengan padatan daging biji. Minyak jarak siap untuk proses pirolisis.

2. Pembuatan Larutan NaOH 1,5% dan HNO₃ 10%

a. Larutan NaOH 1,5%

Larutan NaOH 1,5% dibuat dengan menimbang NaOH 15 gram dan dilarutkan dalam 1000 mL akuades.

b. Larutan HNO₃ 10%

Larutan HNO₃ 10% dibuat dengan memasukkan 147 mL HNO₃ 68% ke dalam labu takar 1000 mL kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas.

3. Preparasi Sekam Padi

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

4. Ekstraksi Silika dari Sekam Padi

Sebanyak 50 gram sekam padi yang telah bebas dari pengotor bahan organik larut air direndam dalam 500 mL HNO₃ 1M kemudian didiamkan selama 24 jam lalu dikeringkan. Selanjutnya, sekam padi direndam dengan NaOH 1,5% dan dipanaskan hingga mendidih selama 30 menit. Kemudian sampel disaring dan filtrat yang mengandung silika terlarut ditampung. Silika dalam filtrat diendapkan dengan penambahan HNO₃ 10% secara bertahap hingga terdapat endapan berbentuk gel. Gel silika didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar. Selanjutnya, gel silika disaring dan dicuci dengan akuades panas hingga bersih.

Silika yang diperoleh dikeringkan pada oven dengan suhu 70°C dan silika yang telah kering dihaluskan.

5. Pembuatan Sol Silika Sekam Padi

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

6. Pembuatan Katalis dengan Metode Elektrokimia

Untuk percobaan, sebanyak 600 mL sol silika diencerkan dengan 1400 mL akuades, kemudian diasamkan dengan HNO₃ 10% secara bertahap hingga pH campuran 7 pada reaktor elektrolisis. Pada reaktor, ditempatkan batang aluminium sebagai katoda dan anoda, selanjutnya dielektrolisis pada variasi potensial 8, 10, dan 12 volt. Masing-masing potensial dielektrolisis dengan variasi waktu 1, 2, dan 3 jam. Sampel hasil elektrolisis dikeringkan pada suhu 90°C, setelah kering sampel dihaluskan.



Gambar 7. Reaktor elektrolisis

7. Kalsinasi Katalis

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

8. Karakterisasi Katalis

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

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

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

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

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

b. Karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM)

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

1. Sampel disiapkan dan direkatkan pada mesin *holder* (*Dolite, double sticy tape*).
2. Sampel yang telah dipasang pada *holder* kemudian dibersihkan dengan *Hand Blower*.
3. Sampel dimasukkan dalam mesin *couting* untuk diberi lapisan tipis yang berupa *gold-poladinum* selama 4 menit sehingga menghasilkan lapisan degan 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 *X-Ray Fluorescence* (XRF)

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

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

d. Karakterisasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

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

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

9. Uji Reaksi Perengkahan

Uji perengkahan dilakukan dalam reaktor pirolisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Sebanyak 300 mL minyak jarak kaliki dicampur dengan 10 gram katalis. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis dan dilakukan proses pirolisis dengan memanaskan reaktor menggunakan tungku pemanas elektrik, sampai suhu yang ditentukan. Uap yang terbentuk dialirkan dari reaktor ke kondensor. Destilat yang dihasilkan ditampung dalam botol. Percobaan dianggap berakhir jika tidak ada lagi destilat yang menetes dari kondensor.



Gambar 8. Reaktor pirolisis

10. Karakterisasi *Liquid Fuel*

Untuk menguji kelayakan *liquid fuel* sebagai bahan bakar, sampel yang sama juga dianalisis untuk menentukan parameter teknis meliputi *flash point*, viskositas dan massa jenis berdasarkan SNI 7431 2008. Karakterisasi *liquid fuel* menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) dilakukan untuk mengidentifikasi komponen-komponen penyusun sampel.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil uji aktivitas katalis diperoleh *liquid fuel* dengan rendemen yang tinggi masing-masing pada pirolisis minyak jarak kaliki dengan menggunakan katalis Pre-Zeo_{8:1} sebesar 62,33%; Pre-Zeo_{10:1} sebesar 56,77%; dan Pre-Zeo_{12:1} sebesar 63,62%.
2. Hasil analisis GC-MS menunjukkan bahwa *liquid fuel* dengan kandungan hidrokarbon tertinggi diperoleh dari pirolisis minyak jarak kaliki dengan menggunakan katalis Pre-Zeo_{8:1} yang dikalsinasi pada suhu 800°C yakni sebesar 85,97%.
3. Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa pada Pre- Zeo_{8:1} suhu kalsinasi 600°C didominasi oleh fasa amorf, pada suhu kalsinasi 800 dan 900°C didominasi fasa amorf, namun sudah memiliki fasa kristalin meskipun dalam jumlah kecil yakni, fasa *albite* dan *crystalite* yang menunjukkan bahwa hasil sintesis belum menjadi zeolit sehingga dianggap sebagai prekursor zeolit.
4. Hasil karakterisasi menggunakan SEM menunjukkan bahwa pada Pre-Zeo_{8:1} 600°C diperoleh ukuran partikel yang heterogen dan belum tampak adanya

pori-pori. Pada Pre-Zeo_{8:1} 800°C diperoleh ukuran partikel yang heterogen dan jumlah pori relatif banyak. Pada Pre-Zeo_{8:1} 900°C pori relatif lebih sedikit dan ukuran partikel yang heterogen.

5. Hasil karakterisasi dengan FTIR menunjukkan bahwa Pre-Zeo_{8:1} suhu kalsinasi 600, 800, dan 900°C memiliki jenis situs asam Brønsted-Lowry dimana gugus –OH berikatan hidrogen dengan basa piridin.
6. Karakterisasi fisik menunjukkan bahwa viskositas *liquid fuel* hasil pirolisis minyak jarak kaliki telah memenuhi syarat berdasarkan SNI 7431 2008.

B. Saran

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

1. Mengaji pengaruh penambahan jumlah silika dalam pembuatan sol silika yang digunakan dalam pembuatan zeolit sintetik dengan metode elektrokimia.
2. Mempelajari pengaruh jumlah katalis yang digunakan dalam pirolisis minyak jarak kaliki.
3. Meningkatkan kualitas *liquid fuel*, khususnya densitas dan titik nyala dengan menghilangkan senyawa-senyawa yang terdapat dalam *liquid fuel* selain hidrokarbon.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriany, R. 2012. Pemanfaatan Zeolit Alam Termodifikasi Kation Na^+ untuk Penangkapan CO_2 . *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*. 46: 145-151.
- Aguado, J., P.D. Serrano, M.J. Escola, and Garagorri. 2002. Catalytic Conversion of Low Density Polyethylene Using a Continuous Screw Kiln Reactor. *Catalytic Today*. 75: 257-262.
- Agung, G.F., M.R. Hanafie, dan P. Mardina. 2013. Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi dengan Pelarut KOH. *Jurnal Konversi*. 2 (1): 28-30.
- Akbar, F. dan Sunarmo. 2013. Sintesis Katalis Ni/ZSM-5 untuk Pirolisis Cangkang Sawit Menjadi *Bio-Oil*. *Jurnal Teknik Kimia*. 11: 23-27.
- Akhtar, J. and Amin, N. S. 2012. A Review on Operating Parameter for Optimum Liquid Oil Yield in Biomass Pyrolysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16: 5101-5109.
- Amrulloh, H. 2014. Sintesis Zeolit Berbasis Silika Sekam Padi dengan Metode Elektrokimia Sebagai Adsorben Rhodamin B. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 52 pp.
- Aristiani, V. 2015. Preparasi Katalis CaO/SiO_2 dari CaCO_3 dan Silika Sekam Padi dengan Metode Sol Gel Untuk Pengolahan Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 62 pp.
- Armendariz, J., Lapuerta, M., Zavala, F., Zambrano, E. G., and Ojeda, M. C. 2015. Evaluation of Eleven Genotypes of Castor Oil Plant (*Ricinus communis* L.) for the Production of Biodiesel. *Industrial Crops and Products*. 77: 484-490.
- Arnata, I. W, dan A. A. M. D. Anggraeni. 2013. Rekayasa Bioproses Produksi Bioetanol dari Ubi Kayu Dengan Teknik Ko-Kultur Ragi Tape dan *Saccaromycess cerevisiae*. *Agrointek*. 7 (1): 21-28.
- Ayyad, O. D. 2011 . *Novel Strategies The Synthesis of Metal Nanoparticle and Nanostructure*. (Thesis). Univesitat de Barcelona. Barcelona. 49 pp.
- Baharta, R. 2006. Pengolahan Minyak Goreng Bekas Pakai Menjadi Biodiesel sebagai Energi Alternatif. Politeknik Negeri Lampung. Bandar Lampung. 52 pp.

- Bathia, S., Zabidi, N.A., Twaiq, M., Farouq, A. 1999. Catalytic Conversion of Palm Oil to Hydrocarbons : Performance of Various Zeolite Catalyst. *Microporous and Mesoporous Materials*. 38(9): 3230-3237
- Bekkum, H.V., E.M. Flanigen, and J.C. Jansen. 1991. Introduction to Zeolite Science and Practice. *Surface Science and Catalysis*. 58: 153-173.
- BPS Provinsi Lampung 2015. *Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Padi Sawah dan Padi Ladang Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Lampung, 2015*. <http://lampung.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/447>. Diakses pada 23 Oktober 2016.
- British Petroleum. 2015. *BP Statistical Review of World Energy*. Alcofree and Pureprint. London. Hlm 48.
- Cao, G., J. Platasa, V. A. Pieribone, D. Raccuglia, M. Kunst, and M. N. Nitabach. 2013. Genetically Targeted Optical Electrophysiology in Intact Neural Circuits. *Cell*. 154 (4): 904-911.
- Chhiti, Y., and M. Kemiha. 2013. Thermal Conversion of Biomass, Pyrolysis and Gasification: A Review. *The International Journal of Engineering and Science*. 2 (3): 75-85.
- Chiaromonti, D., Bonini, M., Fratini, E., Tondi, G., Gartner, K., Bridgwater, A.V., Grimm, H.P., Soldaini, I., Webster, A., and Baglioni, P. 2003. Development of Emulsions from Biomass Pyrolysis Liquid and Diesel and Their Use in Engines. *Biomass Bioenergy*. 25: 101–111.
- Choi, J. H., Woo, H. C., and Suh, D. J., 2014. Pyrolysis of Seaweeds for Bio-Oil and Bio-char Production. *Chemical Engineering Transactions*. 3: 121-126.
- Collares, R. M., Luiza V. S. M, Mariana M. B., Nina P. G. S., Marcio A. M., Dilson A. B., and Lisiane M. T. 2012. Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Cassava to Obtain Fermentable Sugars. *Journal of Zhejiang University-Science B (Biomedicine and Biotechnology)*. 13(7): 579-586.
- Cornelissen, T., Y. Yperman, G. Reggers, S. Schreurs, R. Carleer. 2008. Flash Co-Pyrolysis of Biomass with Polylactic Acid. Part 1: Influence on Bio-Oil Yield and Heating Value. *Fuel*. 87: 1031–1041.
- Daifullah, A. A. M., Girgis, B. S., and Gad, H. M. H. 2002. Utilization of Agro-Residues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans Material Letters. 57: 1723-1731.
- Damanik, F. S. 1997. Reaksi Karbonilasi Asam Oleat Dengan Menggunakan Katalis PdCl₂ dan Ko-Katalis CuCl₂. (Skripsi). Universitas Sumatra Utara. Medan. 44 hlm.
- Demirbas, A. 2000. Conversion of Biomass Using Glycerine to Liquid Fuel for Blending Gasoline as Alternative Engine Fuel. *Energy Conversion and Management*. 41: 1741-1748.

- Dickerson, T. and Soria, J. 2013. Catalytic Fast Pyrolysis: A Review. *Energies*. 6: 514-538.
- Duan, P. and Savage, P. E. 2011. Catalytic Hydrotreatment of Crude Alga Bio-Oil in Supercritical Water. *Applied Catalysis B: Environmental*. 104: 136-143.
- Dyah, P. S. 2011. Produksi Biodiesel dari Mikroalga *Chlorella* sp dengan Metode Esterifikasi In-Situ. (Tesis). Universitas Diponegoro. Jawa Tengah. 45 hlm.
- Fadilah, U. 2015. Pengolahan Kaleng Aluminium Bekas Menjadi Aluminosilikat Berbasis Silika Sekam Padi Dengan Metode Elektrokimia Sebagai Katalis Transesterifikasi Minyak Biji Karet. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 58 hlm.
- Fisher, T., Hajaligol, M., Waymack, B., and Kellogg, D. 2002. Pyrolysis behaviour and kinetics of biomass derived materials. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 62: 331-349.
- 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.
- Gercel, H. F. 2011. Bio-oil Production from *Onopordum acanthium* L. by Slow Pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 92 (1): 233-238.
- Gronli, M. G., Varhegyi, G., and Blassi, C. D. 2002. Thermogravimetric analysis and devolatilization kinetics of wood. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 41: 4201-4208.
- Guru, M., Artukoglu, B. D., Keskin, A., and Koca, A. 2008. Biodiesel Production from Waste Animal Fat and Improvement by Synthesized Nickel and Magnesium Additive. *Energy Conversion and Management*. 50 (3): 498-503.
- Hananto, F. S., D. R. Santoso, and Julius. 2011. Application of Piezoelectric Material Film PVDF (Polyvenylidene Flouride) as Liquid Viscosity Sensor. *Journal of Neutrino*. 3 (2): 129-142.
- Hardjono, S. 1990. *Spektroskopi Inframerah*. Liberty. Yogyakarta. 146 hlm.
- Hemant, Y. S., Panwar, N. L. and Bamniya, B. R. 2011. Biodiesel from Castor Oil – A Green Energy Option. *Low Carbon Economy*. 2: 1-6.
- Herrera, A., Tellez-Luis S. J., and Ramirez J. A. 2003. Production of Xylose from Sorghum Straw Using Hydrochloric Acid. *Journal Cereal Science*. 37: 267-274.
- Holt, P. K., Barton, G. W., Wark, M., and Cynthia, A. M. 2002. A Quantitative Comparison Between Chemical Dosing and Electrocoagulation. *Colloids and Surface*. 211: 233-248.
- Hou, C. T. and F. Jei-Fu. 2008. *Biocatalysis and Bioenergy*. John Wiley and Sons INC, Publication. USA. 86 hlm.

- Jahirul, M., M. G. Rasul, A. A. Chowdhury, and N. Ashwath. 2012. Biofuels Production through Biomass Pyrolysis-A Technological Review. *Energies*. 5: 4952-5001.
- Jeon, M. J., S. S. Kim, J. K. Jeon, S. H. Park, J. M. Kim, J. M. Sohn, S. H. Lee, and Y. K. Park. 2012. Catalytic Pyrolysis of Waste Rice Husk Over Mesoporous Materials. *Nanoscale Research Letters*. 7 (18): 1-5.
- Jin, F., and Li, Y. 2009. A FTIR and TPD Examination of the Distributive Properties of Acid Site on ZSM-5 Zeolite with Pyridine as a Probe Molecule. *Catalysis Today*. 145: 101-107
- Jung, S., Kang, B and Kim, J. 2008. Production of Bio-Oil from Rice Straw and Bamboo Sawdust Under Various Reaction Condition in 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/Zeorlit Alam Pada Reaksi Konversi Minyak Jelantah Menjadi Bahan Bakar Cair. Universitas Negeri Semarang. 8: 9-16.
- Kalapathy, U., A. Proctor, and J. Schultz. 2000. A simple method for production of pure silica from rice hull ash. *Biores Technol*. 73: 257-268.
- Kriswarini R., D. Anggraini, dan Noviyarty. 2010. Validasi Metoda Pengukuran Isotop ^{137}Cs Menggunakan Spektrometer Gamma. *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII*. Hlm. 328-333.
- 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.
- Masuda, T., Kondo, Y., Miwa, M., Shimotori, T., Mukai, S. R., Hasimoto, K., Takono, M., Kawasaki, S., and Yoshida, S. 2001. Recovery of useful Hydrocarbons from Oil Palm Waste using ZrO₂ Supporting FeOH catalyst. *Chemical Engineering Science*. 56: 897-904.
- McCusker, L. B. and Baerlocher, C. 2007. Studies in Surface Science and Catalysis. *Introduction to Zeolite Science and Practice*. 168: 13-37.
- McLafferty. 1988. Interpretasi Spektra Massa. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 45, hlm. 14-30.
- Mediasari, R. 2015. Pengembangan Zeolit Sintetik Berbasis Silika Sekam Padi dengan Metode Elektrokimia dan Aplikasinya sebagai Katalis untuk Perengkahan Minyak Nabati secara Pirolisis. (Tesis). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 102 pp.

- Meliyana, L. 2015. Preparasi Katalis CaO/SiO₂ dari CaCO₃ dan Silika Sekam Padi dengan Metode Sol Gel Untuk Pengolahan Minyak Nabati Menjadi Biodiesel. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 74 pp.
- Mocková, A., Matik, M., Orolínová, Z., Hudec, P., and Kmecová, E. 2008. Structural Characteristics of Modified Natural Zeolite. *J. Porous Mater.* 15: 559-564.
- Napitupulu, R. 2012. Studi Pendahuluan Perengkahan Katalitik (*Catalytic Cracking*) Minyak Kelapa Menjadi Bahan Bakar Cair (*Liquid Fuel*) Generasi Kedua dengan Nano Katalis Ti-Silika Berbasis Sekam Padi. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 62 pp.
- Nasikin, M. dan A. Makhdiyanti. 2003. Sintesis Metil Ester Sebagai Aditif Bahan Bakar Solar dari Minyak Sawit. *Jurnal Teknologi.* 1: 45-50.
- Nasikin, M., Susanto B, H. Hirsaman, M. A., and Wijanarko, A. 2009. Biogasoline from Palm Oil by Simultaneous Cracking and Hydrogenation Reaction over Nimo/zeolite. *World Applied Sciences Journal.* 5: 74-79
- Nguyen, T. S., Zabeti, M., Lefferts, L., Brem, G., and Seshan, K. 2013. Catalytic Upgrading of Biomass Pyrolysis Vapours using Faujasite Zeolite Catalysts. *Biomass and Bioenergy.* 48: 100-110.
- Nicoli, S., Mojovic, L., Rakin, M., Dušanka, P., and Jelena, P. 2010. Ultrasound-assisted Production of Bioethanol by Simultaneous Saccharification and Fermentation of Corn Meal. *Food Chemistry.* 122: 216-222.
- Nugraha, M. F., Wahyudi, A., dan Gunardi, I. 2013. Pembuatan *Fuel* dari *Liquid* Hasil Pirolisis Plastik Polipropilen melalui Proses *Reforming* dengan Katalis NiO/ -Al₂O₃. *Jurnal Teknik Pomits.* 2: 299-302.
- Nurjannah., Roesyadi, A., dan Prajitno, D.H, 2010. Konversi Katalitik Minyak Sawit Untuk Menghasilkan Biofuel Menggunakan Silika Alumina dan HZSM-5 Sintetis. *Reaktor.* 13 (1): 37-43.
- Omohu, O. J., and Omale, A. C. 2017. Physicochemical Properties and Fatty Acid Composition of Castor Bean *Ricinus communis* L. Seed Oil. *American Journal of Applied and Industrial Chemistry.* 3 (1): 1-4.
- Padil, S. dan Amir, A. 2010. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Melalui Reaksi Metanolisis Menggunakan Katalis CaCO₃ yang dipijarkan. *Natur Indonesia.* 13 (1): 27-32.
- Pandiangan, K. D., S. G. Irwan., R. Mita., W. Sony., A. Dian., A. Syukri, dan 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.* 3: 342- 353.

- Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Irwan, G. S., dan Novesar, J. 2009. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. 30 Desember 2009. *Metode Ekstraksi Silika dari Sekam Padi*. P00200900776.
- Perez, J.A., Gonzalez, A., and Oliva, J. M. 2007. Effect of Process Variables on Liquid Hot Water Pretreatment of Wheat Straw for Bioconversion to Fuel-Ethanol In A Batch Reactor. *Journal Chemistry Technology Biotechnology*. 82: 929-938.
- Platon, A., and J.W. Thomson. 2003. Quantitative Lewis/ Brønsted Ratios using DRIFTS. *Applied Catalysis Industrial Engineering Chemistry Research*. 42: 5988-5992.
- Putri, S. K, Supranto, dan Sudiyo, R. 2012. Studi Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa (Coconut Oil) dengan Bantuan Gel. Ultrasonik. *Rekayasa Proses*. 6 (1): 20-25.
- Rengel, A. 2007. *Study of Lignocellulosic Biomass Pyrolysis: State of the Art and Modelling*. (Thesis). KTH Royal Institute of Technology. Stockholm. 82 hlm.
- Richardson, J. T. 1989. *Principles of Catalyst Development*. Plenum Press, New York. 589 hlm.
- Rodiansono, W., Trisunaryanti, dan Triyono. 2007. Pembuatan, Karakterisasi dan Uji Aktifitas Katalis NiMo/Z dan NiMo/Z-Nb₂O₅ pada Reaksi Hidrogen Langkah Fraksi Sampah Plastik Menjadi Fraksi Bensin. *Berkala MIPA*. 17: 44-54.
- Samsuri, M., M. Gozan., R. Mardias, M. Baiquni, H. Hermansyah, dan A. Wijanarko. 2007. Pemanfaatan Sellulosa Bagas untuk Produksi Ethanol Melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak dengan Enzim Xylanase. *Makara Teknologi*. 11 (1): 17-24.
- Scholz, V. and da Silva, J. N. 2008. Prospects and Risk of the use of Castor Oil as a Fuel. *Biomass and Bioenergy*. 32: 95-100.
- Sembiring, S., P. Manurung, dan P. Karo-Karo. 2009. *Pengaruh Suhu Tinggi terhadap Karakteristik Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi*. Jurusan Fisika Bidang Material, Universitas Lampung. 5 (1): 1-8.
- Simanjuntak, W. and S. Sembiring. 2016. The Use of Liquid Smoke as a Substitute for Nitric Acid for Extraction of Amorphous silica from Rice husk through Sol-Gel Route. *Oriental Journal of Chemistry*. 32 (4): 1-7.
- Smallman, R. E. 2000. *Metalurgi Fisik Modern, Edisi Keempat*. PT. Gramedia PustakaUtama. Jakarta. hal 137 – 140.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2008. *Mutu dan Metode Uji Minyak Nabati Murni Untuk Bahan Bakar Diesel Putaran Sedang*. SNI Nomor: 7431:2008.

- Subagio. 1993. Zeolit: Struktur dan Sifat-Sifatnya. *Warta Insinyur Kimia*. 7 (3): 17-23.
- Suka, I. G., W. Simanjuntak, S. Sembiring, dan E. Trisnawati. 2008. Karakteristik Silika Sekam Padi Dari Provinsi Lampung yang Diperoleh Dengan Metode Ekstraksi. *Jurnal Sains MIPA*. 37 (1): 47-52.
- Suminta, S. 2006. Karakterisasi Zeolit Alam dengan Metode Difraksi Sinar-X. *Jurnal Zeolit Indonesia*. 5: 52-68.
- Sunarno dan Yenti, S. R. 2013. Pembuatan Zeolit Sintetis dan Aplikasinya sebagai Katalis pada *Cracking* Cangkang Sawit menjadi *Bio-Oil*. *Jurnal Teknobiologi*. 4: 35-39.
- Susanti, L. 2015. Pengembangan Zeolit Sintetik Berbasis Silika Sekam Padi Secara Elektrokimia Sebagai Katalis Untuk Pengolahan Minyak Nabati Menjadi Biodiesel. (Tesis). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 110 pp.
- Svehla, G. 1985. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semi Mikro Jilid I*. Alih Bahasa oleh Setiono. Hadyana Pudjaatmaka. PT Kalman Media Pusaka. Jakarta.
- Swoboda, A. R., and G. W. Kunze. 2006. Infrared Study of Pyridine Adsorbed on Montmorillonite Surface. *Texas Agricultural Experiment Station*. 1: 277-288.
- Syani, F. 2014. Sintesis Zeolit Berbasis Silika Sekam Padi dengan Metode Elektrokimia sebagai Katalis Transesterifikasi Minyak Kelapa. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 78 pp.
- Tanabe, K., 1981. *Solid Acid and Base Catalyst in Catalysis Science and Technology*. John R. Anderson and Michael Boudart Vol. 2. Springer-Link. Berlin.
- Twaiq, F. A., Mohamed, A. R., and Bhatia, S. 2003. Liquid Hydrocarbon Fuel from Palm Oil by Catalytic Cracking over Aluminosilicate Mesoporous Catalysts with various Si/Al ratios. *Microporous and Mesoporous Materials*. 64: 95-107.
- Ucar, S. and Karagoz, S. 2009. The Slow Pyrolysis of Pomegranate Seed: The Effect of Temperature on the product Yields and Bio-oil Properties. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 84 (2): 151-156.
- Venderbosch, R.H. and Prins, W. 2010. Review: Fast pyrolysis technology development. *Biofuel*. 4: 178-208.
- Vitolo, S., B. Bresci, M. Seggiani, and G.M. Gallo. 2001. Catalytic Upgrading of Pyrolysis Oils Over HZSM-5 Zeolite: Behaviour of The Catalyst When Used in Repeated Upgrading-Regenerating Cycles. *Fuel*. 80: 17-26.
- Warastuti, S. 2013. Pirolisis Minyak Jarak Pagar Menggunakan Karbon Berpori. (Tesis). Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. 60 hlm.

- Wardan, S. dan A. Zainal. 2003. *Bahan Bakar dan Pelumas*. Fakultas Teknik UNY. Yogyakarta. 56 hlm.
- Wijanarko, A., D.A. Mawardi dan M. Nasikin. 2006. Produksi Biogasoline dari Minyak Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik dengan Katalis - Alumina. *Makara Teknologi*. 10 (2): 51-60.
- Wolfovich, M.A., M.V. Landau, A. Brenner, and M. Herskowitz. 2004. Catalytic Wet Oxidation of Phenol with Mn–Ce-Based Oxide Catalysts: Impact of Reactive Adsorption on TOC Removal. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 43: 5089-5097.
- Xiao, B., Wang, Y.Y., and Su, Q. 2006. The research of treating municipal solid waste by gasification. *China Resources Comprehensive Utilization*. 24: 18–20.
- Yelmida, I. Z., dan Akbar, F. 2012. Perengkahan PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) Dengan Katalis Zeolit Sintetis Untuk Menghasilkan Biofuel. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 9 (1): 45-50.
- Yu, Jihong. 2007. Studies in Surface Science and Catalysis. *Introduction to Zeolite Science and Practice*. 168: 39-103.
- Yusuf, A. K., Mamza, P. A. P., Ahmed, A. S., and Agunwa, U. 2015. Extraction and Characterization of Castor Seed Oil from Wild Ricinus communis Linn. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 4 (5): 1392-1404.