

**PENGOLAHAN CPO PARIT MENJADI *LIQUID FUEL* DENGAN
METODE PIROLISIS MENGGUNAKAN ZEOLIT SINTETIK BERBASIS
SILIKA SEKAM PADI**

(Skripsi)

Oleh

Muhammad Yusry Ahmadhani



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

ABSTRAK

PENGOLAHAN CPO PARIT MENJADI *LIQUID FUEL* DENGAN METODE PIROLISIS MENGGUNAKAN ZEOLIT SINTETIK BERBASIS SILIKA SEKAM PADI

Oleh

MUHAMMAD YUSRY AMADHANI

Dalam penelitian ini telah dilakukan sintesis zeolit-Y dari aluminium dan silika sekam padi menggunakan metode sol-gel. Zeolit-Y dikalsinasi pada suhu 600, 700, 800, dan 900 °C. Uji perengkahan dilakukan pada minyak CPO parit, bagas tebu, serta campuran bagas tebu dan minyak CPO parit. Campuran bagas tebu dan minyak CPO parit menggunakan zeolit-Y yang dikalsinasi dengan suhu 600, 700, 800 °C memiliki kondisi optimum dengan rendemen *liquid fuel* sebesar 35,23%; 31,60%; dan 26,47%. Hasil GC-MS menunjukkan bahwa hasil uji perengkahan pada campuran bagas tebu dan minyak CPO parit menggunakan zeolit-Y yang dikalsinasi pada suhu 700 °C memiliki kandungan hidrokarbon terbesar yaitu 85,54% dengan viskositas 2,9 cSt, densitas 0,861 g/mL, serta titik nyala sebesar 50°C. Katalis yang dikarakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa katalis zeolit-Y 600, 700, 800, dan 900 °C membentuk fasa nepheline, nephelite, maupun jadeite. Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa pori dipermukaan zeolit berkurang ketika suhu kalsinasi meningkat. Karakterisasi dengan PSA menunjukkan distribusi ukuran partikel pada zeolit-Y 600, 700, dan 800 °C berturut-turut sebesar 92,1 nm, 294 nm, dan 336 nm. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa zeolit-Y 600, 700, 800, dan 900 °C merupakan situs asam Brønsted-Lowry.

Kata kunci : bagas tebu, *liquid fuel*, minyak CPO parit, reaksi perengkahan, zeolit-Y

ABSTRACT

CPO WASTE PREPARATION INTO LIQUID FUEL BY PYROLYSIS METHOD USING ZEOLITE SYNTHETIC BASED ON RICE HUSK

By

MUHAMMAD YUSRY AHMADHANI

The synthesized of zeolite-Y in this research had been done from aluminum and silica from rice husk using sol-gel method. Zeolite-Y calcined on temperature 600, 700, 800, and 900 °C. Cracking test was done on CPO waste, bagasse of sugarcane, and the mixture from bagasse of sugarcane and CPO waste. The mixture from bagasse of sugarcane and CPO waste used Zeolite-Y which was calcined on temperature 600, 700, 800 °C had optimum condition with liquid fuel yield 35,23%, 31,60%, and 26,47%. The result of GC-MS showed that cracking test on the mixture from bagasse of sugarcane and CPO waste used Zeolite-Y which was calcined on temperature 700 °C contained biggest hydrocarbon, it was 85,54% with the value of viscosity 2,9 cSt, density 0,861 g/mL, and flash point on 50 °C. Catalyst characterized by XRD showed that Zeolite-Y catalyst 600, 700, 800, and 900 °C forming nepheline, nephelite, or jadeite phase. The result of SEM analysis showed that the pores on the surface of zeolite reduced when the temperature of calcination was increased. PSA characterization showed that the distribution of particle size on Zeolite-Y 600, 700, 800, and 900 °C was Bronsted-Lowry's acid site.

Keyword: CPO waste soil, cracking reaction, liquid fuel, sugarcane bagasse, Zeolite-Y

**PENGOLAHAN CPO PARIT MENJADI *LIQUID FUEL* DENGAN
METODE PIROLISIS MENGGUNAKAN ZEOLIT SINTETIK BERBASIS
SILIKA SEKAM PADI**

Oleh

Muhammad Yusry Ahmadhani

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS

psda

Jurusan Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

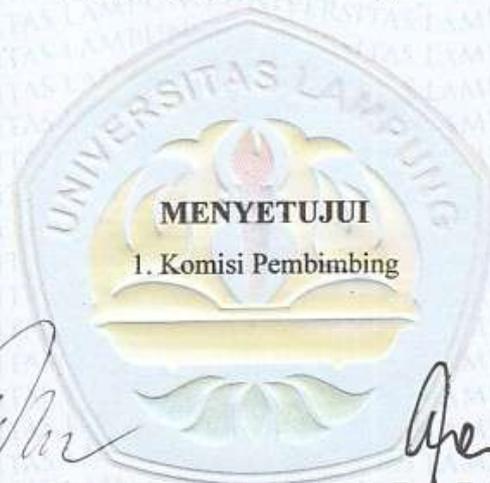
Judul Skripsi : **PENGOLAHAN CPO PARIT MENJADI
LIQUID FUEL DENGAN METODE PIROLISIS
MENGUNAKAN ZEOLIT SINTETIK
BERBASIS SILIKA SEKAM PADI**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Yusry Ahmadhani**

No. Pokok Mahasiswa : 1117011038

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Dr. R. Supriyanto, M.S.
NIP 19581111 199003 1 001

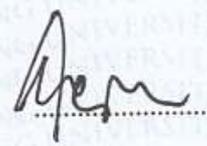
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

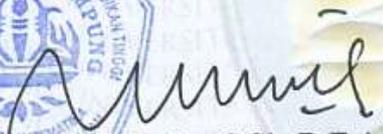
Ketua : **Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.** 

Sekretaris : **Drs. R. Supriyanto, M.S.** 

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.** 



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam


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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **03 Januari 2018**

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Pahoman, Bandar Lampung pada tanggal 14 Maret 1993, anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Alm. Rahimuddin Ilyas dan Ibu Zaiyuna.

Penulis mengawali pendidikan formal di SD Al-Azhar 3

Perumnas Way Halim yang diselesaikan pada tahun 2005, melanjutkan di SMP Negeri 4 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2008 dan masuk SMA Negeri 9 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2011. Pada tahun 2011 penulis diterima di jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur tertulis Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menempuh pendidikan di jurusan kimia, penulis memiliki pengalaman organisasi yaitu, Kader Muda Himaki periode 2011-2012, Wakil Ketua Indospurs Lampung periode 2011-2012 dan 2013-2014, Anggota Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Badan Eksekutif Mahasiswa FMIPA Unila Periode 2012-2013, Anggota Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi Himaki FMIPA Unila periode 2012-2013, Ketua Umum Organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia Periode 2013-2014 dan Anggota Dewan Pembina Himaki periode 2014-2015.

Penulis pernah menjadi Asisten Sains Dasar pada tahun 2016 untuk mahasiswa Ilmu Komputer FMIPA Unila dan Fisika FMIPA Unila serta asisten praktikum Kimia dalam Kehidupan tahun 2016 untuk mahasiswa Kimia FMIPA Unila angkatan 2015.

MOTTO

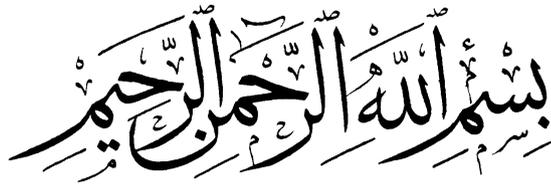
“Dan di langit terdapat (sebab-sebab) rezekimu dan apa yang dijanjikan kepadamu. Maka demi Tuhan langit dan bumi, sungguh, apa yang dijanjikan itu pasti terjadi seperti apa yang kamu ucapkan.”

(Qs. Az-Zariyat: 22-23)

“Lakukan hal-hal positif untuk orang-orang dan lingkungan, maka orang-orang dan lingkungan akan memberikan semua hal positif untuk Mu”

“Kecerdasan tidak menjadikanmu seorang apapun tanpa sikap dan etika yang baik”

(Muhammad Yusry Ahmadhani).



**Segala Puji dan Syukur Kepada Allah SWT
Kupersembahkan Karya Sederhanaku ini Teruntuk...**

**Kedua Orang Tuaku
Bapak Alm. Rahimuddin Ilyas dan Ibu Zaiyuna Yang
selalu memberikan Cinta, Kasih Sayang, Motivasi, Semangat,
dan Doa serta Pengorbanan demi Keberhasilanku**

**Kakak dan Adik Ku
Rahmaiza Ilyani, M. Saviez Alfarizy, dan M. Asrof
Dhiya' Ulhaq**

**Orang tersayang, Sahabat-Sahabat tercinta, dan seluruh
Kerabat.**

**Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D., Drs. Supriyanto
M.S., Prof. Dr. Vandri AS., M.S., dan Dr. Agung
Abadi Kiswandono, M.Sc., yang membimbing dan memotivasi
selama di Perkuliahan.**

**Almamater Tercinta
Universitas Lampung**

SANWACANA

Alhamdulillah segala puji hanya bagi Allah SWT, atas rahmat dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengolahan CPO Parit menjadi *Liquid Fuel* dengan Metode Pirolisis Menggunakan Zeolit Sintetik Berbasis Silika Sekam Padi”**. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang yang paling luar biasa dalam hidup, Bapak Alm. Rahimuddin Ilyas dan Ibu Zaiyuna, yang telah mendidik, memberikan kasih sayang, dukungan, doa, dan motivasi kepada penulis hingga saat ini.
2. Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D., selaku Pembimbing I dan Pembimbing Akademik yang telah memotivasi, membimbing, dan mengarahkan penulis selama penelitian dan penulisan skripsi.
3. Drs. R. Supriyanto, M.S., selaku Pembimbing II atas kesabarannya dalam memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi kepada penulis selama menyelesaikan skripsi.

4. Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., selaku Pembahas yang banyak memberikan masukan dan kritik yang bersifat positif dan membangun.
5. Prof. Dr. Ir. Yandri AS,. M.S., yang selalu memberikan bimbingan dan motivasinya.
6. Bapak Diki Hidayat M.Si yang selalu mengingatkan dan memotivasi.
7. Dr. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
8. Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
9. Bapak dan Ibu Dosen beserta staf jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah membimbing penulis selama belajar di Universitas Lampung.
10. Kakak tercinta Rahmaiza Ilyani, S.Pd, dan Muhammad Haviez Alfarizy, S.Kom., Adik tercinta Muhammad Asrof Dhiya Ulhaq, Paduka Anas, Baginda Bunga, Keluarga Besar Datuk Dalom Bandar dan Keluarga Besar H. Hasan Minak Kusuma yang selalu memotivasi agar cepat menyelesaikan kuliah, dan menjadi orang yang berguna dan dapat membanggakan keluarga. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian.
11. Ulfa Devina, terima kasih atas motivasi, masukan, kritik, dan kesabarannya dalam menemani penulis menyelesaikan skripsi.
12. Saudara-saudara Barbados, Aldo, Jibon, Nelwan, Pandhu, Rizki, Septa, Sidiq, Zazuly, terima kasih atas semangat, motivasi, dan guyonan yang membangun selama penulis menyelesaikan skripsi ini.
13. Saudara-saudara Membara, Bayu, Blodot, Dimas, Cipay, Ferry, Frian, Genadi, Kausar, Erto, Toto, Dio, Reza, Egy, dan Yuzza, terima kasih atas semangat

membaranya, motivasi, kasih sayang, dan nasihatnya selama penulis menyelesaikan skripsi ini.

14. Pimpinan Himaki periode 2013-2014, serta pengurus Himaki periode 2013-2014 atas kebersamaan dan pembelajarannya selama ini.
15. Keluarga Kedua Penulis, Kimia angkatan 2011, terima kasih atas kebersamaan selama ini, semangat, ilmu, kasih sayang dan semua rasa kekeluargaan yang tidak akan pernah terlupakan.
16. Teman-teman Laboratorium Polimer, Kak Imam, Kak Soni, Kak Slamet, Mbak Gege, Mbak Juju, Mbak Nung, Mbak Meta, Kak Hanif, Mbak Dila, Gegek, Vevi, Umi, Lusi, Tata, Ferdinan, Fenti, Debo, Ruli, Mbak Agus, Yuda, Anton, Gesa, Nora, Vero, Yuni, dan Herma, terima kasih atas nasihat, kerjasamanya selama proses penelitian.
17. Kakak tercinta Kak Yahya, Kak Dani, Kak Alan, Kak Ibel, Kak Riko, Kak Awan, Kak Agung, Kak Soni, Kak Slamet, Kak Tomi, Kak Andi, Kak Imam dan Kak Taqim.
18. Keluarga Besar Meong gede Rio, Juned, Yuda, Nico, Arik, Bayu MJ, Revy, dan adinda Dery V.
19. Adik – adik tersayang, kimia 2012-2016, Tri Marital, Arif, Aim, Dery, Yuda, Eki, Teguh, Dodoy, Mapeng, Riski, Jevi, Randy, Amar, Econ, Doni, Bowo, Bangun, Tole, Iyan dan lainnya yang tidak bisa disebut satu per satu namanya terimakasih banyak atas bantuan dan dukungannya kepada penulis, semoga silaturahmi kita tetap terjalin.
20. Kakak tingkat angkatan 2007, 2008, 2009, 2010, atas bimbingannya dan Adik tingkat 2013, 2014, dan 2015 atas semangat yang diberikan kepada penulis.

21. Almamaterku tercinta Universitas Lampung.

22. Kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka. *Aamiin*. Dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan yang terjadi. Kritik dan saran sangat diharapkan penulis untuk perbaikan dalam penelitian selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat. *Aamiin*.

Bandar Lampung, 3 Januari 2018

Penulis,

Muhammad Yusry Ahmadhani

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	3
C. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Bahan Bakar	5
B. Bahan Baku Bahan Bakar Cair	7
C. Pirolisis	8
D. Prinsip Pirolisis	10
E. Jenis-Jenis Pirolisis	12
1. <i>Slow Pyrolysis</i>	12
2. <i>Fast Pyrolysis</i>	13
3. <i>Fast Pyrolysis</i>	13

F. <i>Crude Palm Oil</i> (CPO) Parit	14
G. Katalis	15
H. Zeolit	16
I. Zeolit Sintetik.....	17
J. Silika Sekam Padi	18
K. Karakterisasi Zeolit	20
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	20
2. <i>Scanning Elektron Microscope</i> (SEM)	23
3. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	27
4. <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR).....	28
L. Karakterisasi <i>Liquid Fuel</i>	30
1. Analisis Komposisi dengan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....	30
2. Karakteristik Fisik	31
A. Densitas	32
B. Viskositas	32
C. Titik Nyala	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 CPO parit	35

2. Preparasi Bagas Tebu	35
3. Preparasi Sekam Padi	35
4. Ekstraksi Silika Sekam Padi	36
5. Pembuatan Katalis Zeolit-Y	36
6. Kalsinasi Zeolit-Y	37
7. Karakterisasi Zeolit-Y	37
8. Uji Reaksi Perengkahan	38
9. Karakterisasi <i>Liquid Fuel</i>	39

IV. HASI DAN PEMBAHASAN

A. Pengantar	40
B. Preparasi CPO Parit.....	41
C. Preparasi Bagas Tebu	41
D. Ekstraksi Silika Sekam Padi.....	42
E. Sintesis Zeolit-Y	43
F. Uji Reaksi Perengkahan	44
G. Karakterisasi <i>Liquid Fuel</i>	46
1. <i>Gas Chromatograp-Mass Spectometry</i> (GC-MS).....	46
2. Karakterisasi Fisik <i>Liquid Fuel</i>	59
H. Karakterisasi Zeolit-Y	59
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	59
2. <i>Scanning Electron Microscope Sectroscopy</i> (SEM)	64
3. <i>Partical Size Analyzer</i> (PSA)	65
4. <i>Fourier Transformed Infrared Spectroscopy</i> (FT-IR)	67

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	72
B. Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN.....	81

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perbedaan Pengoperasian dan Produk Dalam Proses Pirolisis	12
2. Beberapa Zeolit Sintetik yang Telah Diproduksi.....	18
3. Komposisi (%) Sekam Padi	19
4. Syarat Mutu <i>Liquid fuel</i>	31
5. Rendemen <i>Liquid fuel</i>	46
6. Komposisi <i>liquid fuel</i> dari pirolisis minyak CPO parit tanpa menggunakan katalis	47
7. Komposisi <i>liquid fuel</i> dari pirolisis bagas tebu	49
8. Komposisi <i>liquid fuel</i> dari pirolisis campuran bagas tebu dengan minyak CPO parit	51
9. Komposisi <i>liquid fuel</i> dari pirolisis campuran bagas tebu dan minyak CPO parit menggunakan katalis zeolit-Y 600°C	53
10. Komposisi <i>liquid fuel</i> dari pirolisis campuran bagas tebu dan minyak CPO parit menggunakan katalis zeolit-Y 700°C	55
11. Komposisi <i>liquid fuel</i> dari pirolisis campuran bagas tebu dan minyak CPO parit menggunakan katalis zeolit-Y 800°C	56
12. Rangkuman komposisi <i>liquid fuel</i>	58
13. Karakteristik fisik <i>liquid fuel</i> hasil pirolisis campuran bagas tebu dan minyak CPO parit	59
14. Persentase massa fasa katalis dalam perangkat lunak <i>Match</i>	63
15. Distribusi ukuran partikel zeolit-Y suhu kalsinasi 600, 700 dan 800 °C	66

16. Nilai keasaman zeolit-Y	68
17. Interpretasi spektra zeolit-Y dengan suhu kalsinasi 600, 700, 800, dan 900 °C	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pola Difraksi Sinar-X oleh Suatu Padatan	21
2. Pantulan Berkas Elektron Berenergi Tinggi Dalam SEM	24
3. Skema Alat <i>Scanning Electron Microscope</i>	25
4. Skema Alat PSA	27
5. Reaktor Pirolisis	38
6. Preparasi CPO Parit	41
7. Preparasi bagas tebu	42
8. Ekstraksi silika sekam padi	43
9. Proses pembuatan zeolit-Y	44
10. Uji aktivitas zeolit	45
11. Spektrum GC dan komposisi relatif <i>liquid fuel</i> yang dihasilkan dari pirolisis minyak CPO parit	47
12. Spektrum GC <i>liquid fuel</i> yang dihasilkan dari pirolisis bagas tebu	49
13. Spektrum GC dan komposisi relatif <i>liquid fuel</i> yang dihasilkan dari pirolisis campuran bagas tebu dengan minyak CPO parit	50
14. Spektrum GC dan komposisi relatif <i>liquid fuel</i> yang dihasilkan dari pirolisis campuran bagas tebu dan minyak CPO parit dengan zeolit-Y 600°C	52
15. Spektrum GC dan komposisi relatif <i>liquid fuel</i> yang dihasilkan dari pirolisis campuran bagas tebu dan minyak CPO parit dengan zeolit-Y 700°C	54
16. Spektrum GC dan komposisi relatif <i>liquid fuel</i> yang dihasilkan dari pirolisis campuran bagas tebu dan minyak CPO parit dengan zeolit-Y 800°C	56

17. Difraktogram XRD katalis zeolit-Y 600 °C	60
18. Difraktogram XRD katalis zeolit-Y 700 °C	60
19. Difraktogram XRD katalis zeolit-Y 800 °C	61
20. Difraktogram XRD katalis zeolit-Y 900 °C.....	62
21. Hasil perbandingan difraktogram katalis zeolit-Y	63
22. Mikrograf katalis dengan perbesaran 10.000x	64
23. Hasil pengukuran PSA	66
24. Spektrum FTIR katalis zeolit sintetik tanpa menyerap piridin	68
25. Spektrum FTIR zeolit-Y 600°C dengan menyerap piridin	69
26. Spektrum FTIR zeolit-Y 700°C dengan menyerap piridin	69
27. Spektrum FTIR zeolit-Y 800°C dengan menyerap piridin	70
28. Spektrum FTIR zeolit-Y 900°C dengan menyerap piridin	70
29. XRD zeolit-Y 600°C	86
30. XRD zeolit-Y 700°C	86
31. XRD zeolit-Y 800°C	87
32. XRD zeolit-Y 900°C	87
33. Hasil PSA zeolit-Y 600°C	88
34. Hasil PSA zeolit-Y 700°C	89
35. Hasil PSA zeolit-Y 800°C	90
36. Hasil SEM zeolit-Y 600°C.....	91
37. Hasil SEM zeolit-Y 700°C.....	91
38. Hasil SEM zeolit-Y 800°C.....	92
39. Hasil SEM zeolit-Y 900°C.....	92

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dewasa ini, terus dikembangkan sumber energi baru dan terbarukan. Terdapat tiga jenis bahan bakar cair (*liquid fuel*) yaitu bioetanol, biodiesel, dan *liquid fuel* hasil perengkahan biomassa dengan bantuan panas, yang dikenal juga sebagai metode pirolisis. Bioetanol dan biodiesel dihasilkan dengan menambahkan beberapa reaktan dan substrat spesifik, sedangkan *liquid fuel* diperoleh dari hasil pirolisis memiliki beberapa kelebihan sehingga lebih kompetitif dengan bioetanol, biodiesel, dan sumber energi fosil.

Salah satu bahan baku *liquid fuel* yang berpotensi adalah *Crude Palm Oil* (CPO) parit. CPO parit merupakan limbah industri minyak kelapa sawit yang terdiri dari sisa minyak dan bahan-bahan organik lain yang berasal dari buah kelapa sawit. CPO parit terdapat dalam jumlah besar dan berdampak luas pada lingkungan. Metode pengolahan yang sudah diterapkan membutuhkan biaya yang besar sehingga sangat membebani biaya produksi (Hakiki, 2009).

Pengolahan biomassa menjadi *liquid fuel* menggunakan metode pirolisis memiliki banyak keunggulan baik dari sisi bahan baku yang digunakan maupun sisi proses

pirolisis itu sendiri. Metode pirolisis dapat diterapkan pada berbagai biomassa, seperti residu tanaman, limbah pasar, dan limbah industri. Berdasarkan proses, metode pirolisis membutuhkan perangkat yang sederhana dan prosesnya berlangsung sangat cepat (Ratnasari, 2011).

Penerapan metode pirolisis menggunakan salah satu bahan pendukung yaitu katalis. Katalis adalah suatu senyawa yang berperan untuk mempercepat proses perengkahan dalam metode pirolisis dan menentukan rendemen komposisi produk lain yang dihasilkan. Salah satu jenis katalis yang paling luas penggunaannya adalah zeolit sintetis dengan komposisi (nisbah Si/Al) yang berbeda.

Kebutuhan akan zeolit sintetis sebagai katalis cukup tinggi, zeolit sintetis telah dibuat dari berbagai bahan baku antara lain menggunakan bauksit (Azis, 2010), *water glass* dan tawas (Ulfah dkk, 2006), limbah abu terbang batubara (Utomo, 2012), abu pembakaran cangkang biji sawit (Sunarno dan Silvia, 2013), dan sekam padi (Syani, 2014). Sumber bahan baku untuk mensintesis komposit aluminosilikat sangat melimpah. Aluminosilikat dapat diperoleh langsung dari mineral alumina silika seperti *kaolinite*, kelompok *silimanite* (*silimanite*, *andalusite*, dan *kyanite*) dan beberapa jenis *oxide*, oksihidroksida, hidroksida, garam anorganik, dan logam anorganik sebagai awalan alumina dan silika (Wiranti, 2012).

Komponen lain pembentuk aluminosilikat adalah silika dari sekam padi. Sekam padi merupakan limbah pertanian yang melimpah dan diketahui mengandung silika dalam bentuk oksida (SiO_2) sekitar 22% (Prasad *et al.*, 2012). Silika sekam padi dapat

diekstraksi dengan mudah karena memiliki kelarutan yang tinggi dalam larutan alkali (Pandiangan dkk, 2008), sehingga dapat diperoleh dalam bentuk sol. Sol silika dapat diubah menjadi gel dengan cara menetralkan sol dengan suatu asam, kemudian gel yang dihasilkan dapat diolah menjadi padatan silika (serbuk) dengan kemurnian mencapai 95% (Sembiring dan Karo-karo, 2008). Senyawa silika ditemukan dalam beberapa bahan alam, seperti pasir kuarsa, gelas, dan sebagainya. Silika sebagai senyawa yang terdapat di alam berstruktur kristalin, sedangkan sebagai senyawa sintesis adalah amorf (Sulastri dan Kristianingrum, 2010).

Dalam penelitian ini sekam padi digunakan dikarenakan sekam padi merupakan limbah dari pengolahan padi yang jumlahnya melimpah sehingga sangat mudah untuk diperoleh, sekam padi jarang dimanfaatkan oleh petani, sekam padi yang tidak diolah dapat menjadi sarang serangga maupun tikus sehingga dapat merugikan petani, Berdasarkan latar belakang di atas, dalam penelitian ini dipelajari pengolahan CPO parit dengan metode pirolisis menggunakan zeolit sintetik yaitu zeolit Y yang dibuat dari logam aluminium dan silika sekam padi.

B. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan di atas, penelitian ini dilakukan dengan beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Mendapatkan zeolit-Y dengan metode sol-gel menggunakan bahan baku silika sekam padi dan logam aluminium.

2. Mengkarakterisasi zeolit-Y dengan unjuk kerja terbaik untuk menghubungkan karakteristik zeolit dengan reaktivitasnya sebagai katalis dalam proses pirolisis.
3. Mengkarakterisasi *liquid fuel* yang dihasilkan dengan GC-MS, serta uji kelayakannya dengan viskositas, densitas, dan *flash point*

C. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Meningkatkan pemanfaatan silika sekam padi sebagai nilai tambah di sektor pertanian.
2. Meningkatkan ketersediaan katalis untuk mendukung pengembangan teknologi pirolisis
3. Meningkatkan ketersediaan sumber energi terbarukan dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair atau *liquid fuel* adalah istilah umum untuk bahan bakar berwujud cair. Konteks energi terbarukan, bahan bakar cair meliputi tiga jenis utama yakni bioetanol, biodiesel dan bahan bakar cair hasil perengkahan senyawa organik besar/biomassa. Hingga sekarang bahan bakar cair yang sudah berkembang hingga skala industri adalah bioetanol dan biodiesel. Masalah utama dari kedua bahan bakar cair ini adalah keduanya memerlukan substrat yang spesifik, yang merupakan salah satu keterbatasan dalam produksinya. Bioetanol hanya dapat dihasilkan dari gula reduksi dengan cara fermentasi sehingga bahan baku terbatas pada karbohidrat yang dapat diubah menjadi gula reduksi, dan dewasa ini bahan baku paling banyak digunakan adalah pati dari beberapa tanaman, misalnya jagung (Tri, 2011) dan ubi kayu (Arnata dan Anggraeni, 2013). Berkaitan dengan dua bahan baku di atas, yang harus dipertimbangkan adalah keduanya merupakan komoditas utama pertanian yang dimanfaatkan sebagai bahan pangan dan digunakan juga sebagai bahan baku industri lain, sehingga tidak mungkin digunakan sepenuhnya untuk industri bioetanol.

Persaingan antara penggunaan sebagai bahan pangan dan sebagai sumber energi terbarukan juga dihadapi dalam industri biodiesel. Hal ini terjadi karena untuk pembuatan biodiesel, minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku, terutama minyak kelapa (Putri dkk, 2012) juga merupakan bahan pangan yang sangat penting dan digunakan juga sebagai bahan baku untuk industri lain.

Kendala lain dalam industri bioetanol dan biodiesel adalah dalam proses pembuatannya, baik dari sisi waktu, dan kebutuhan akan bahan baku lainnya. Proses pembuatan bioetanol memerlukan tahap hidrolisis yang memerlukan asam dan bahan tambahan ragi atau enzim dan nutrisi khusus penopang pertumbuhan mikroorganisme. Demikian juga dalam proses pembuatan biodiesel dengan transesterifikasi memerlukan metanol (Padil dan Amir, 2012), asam/basa dan terbentuknya produk samping berupa sabun, serta pemisahan produk biodiesel yang dihasilkan dengan katalis (Putri dkk, 2012). Sehingga proses pembuatan bioetanol dan biodiesel memerlukan waktu yang lama juga dalam aspek ekonomis cukup mahal.

Berbeda dengan dua jenis bahan bakar cair di atas, bahan bakar cair yang diperoleh dengan cara pirolisis pada prinsipnya tidak terkendala oleh bahan baku, karena dapat dihasilkan dari semua bahan organik berukuran besar, atau biomassa. Indonesia memiliki banyak bahan baku biomassa contohnya, sisa pemotongan ranting kayu, kayu, bonggol jagung, sekam dan lain-lain. Perbedaan penting lainnya adalah pembuatan bahan bakar cair dengan pirolisis tidak memerlukan bahan baku lain, dan

prosesnya berlangsung sangat cepat. Sehingga bahan bakar cair hasil pirolisis sangat menguntungkan dan potensial untuk dikembangkan.

B. Bahan Baku Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair (*liquid fuel*) dapat dibuat dari minyak hewani dan minyak nabati yang baru, dan minyak yang telah terpakai, misalnya minyak goreng bekas (*waste cooking oils*). Proses ini melalui proses kimia yang disebut dengan metode perengkahan katalitik menggunakan suatu katalis.

Dewasa ini, bahan baku utama pembuatan *liquid fuel* adalah minyak nabati yang dihasilkan dari berbagai jenis tanaman. Oleh karenanya, *liquid fuel* yang dikembangkan di berbagai negara sangat tergantung pada jenis bahan baku (sumber daya alam) yang dimiliki oleh negara tersebut. Sebagai contoh, minyak kanola di Jerman dan Austria, minyak kedelai di Amerika Serikat, minyak sawit di Malaysia, dan minyak kelapa di Filipina. Indonesia sebagai negara agraris juga memiliki beragam tanaman yang sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pendukung industri *liquid fuel*.

Di Indonesia, kelapa merupakan komoditas yang paling luas penyebarannya karena disamping dilakukan oleh manusia juga tumbuh secara alamiah, sehingga ditemukan juga tumbuh dan berkembang di tempat-tempat yang tidak dihuni oleh manusia. Saat ini Indonesia dikenal memiliki luas perkebunan kelapa terbesar di dunia yakni 3,712 Ha, sebagian besar merupakan perkebunan rakyat (96,6%) sisanya milik negara

(0,17%) dan swasta (2,7%). Potensi sebesar 15 milyar butir kelapa per tahun hanya dimanfaatkan sebesar 7,5 milyar butir pertahun atau sekitar 50% dari potensi produksi. Masih banyak potensi kelapa yang belum dimanfaatkan karena berbagai kendala terutama teknologi, permodalan, dan daya serap pasar yang belum merata.

Kebutuhan CPO (*Crude Palm Oil*) dalam negeri saat ini sebagian besar terserap oleh pabrik minyak goreng dengan kebutuhan rata-rata 3,5 juta ton per tahun. Mengingat persaingan pangan yang dapat terjadi jika menggunakan CPO sebagai bahan dasar pembuatan *liquid fuel*, maka CPO parit yang merupakan limbah cair industri pengolahan minyak sawit dengan kadar asam lemak antara 20-70% merupakan bahan baku yang cocok digunakan untuk produksi *liquid fuel*.

C. Pirolisis

Pirolisis berasal dari Bahasa Yunani yaitu '*pyro*' yang berarti api dan '*lysis*' yang berarti dekomposisi atau memecah sesuatu menjadi bagian-bagian. Lebih dari 5500 tahun yang lalu dibagian Eropa Selatan dan Timur Tengah, teknologi pirolisis sudah digunakan untuk produksi arang (Antal and Gronli, 2003). Pirolisis juga digunakan untuk memproduksi tar untuk pengecatan perahu dan pembalseman tempat-tempat bersejarah di Mesir (Mohan *et al.*, 2006). Sejak saat itu, penggunaan dari pirolisis meningkat dan secara luas digunakan untuk produksi arang dan minuman bersoda. Pembakaran dari arang dapat memberikan temperatur yang dibutuhkan untuk melelehkan timah dan tembaga untuk memproduksi perunggu.

Pirolisis dapat didefinisikan pula sebagai dekomposisi material organik dengan bantuan panas pada suasana *inert* (tanpa oksigen), menjadi senyawa yang lebih sederhana. Pirolisis pada umumnya dilakukan pada suhu 200-500 °C, dan menghasilkan tiga macam produk, yakni gas, cair, dan padat. Komposisi produk pirolisis pada umumnya dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain, jenis bahan baku, suhu pirolisis, waktu pirolisis dan kondisi proses pirolisis. Dalam prakteknya, pirolisis telah dilakukan dengan hasil yang beragam, bergantung pada jenis bahan baku seperti minyak sawit (Masuda *et al.*, 2001; Twaiq *et al.*, 2003; Nasikin dkk, 2009; Wijinarko dkk, 2006; Nurjanah dkk, 2010), *Palm Fatty Acid Distillate* (Yelmida dan Akbar, 2012), minyak jelantah (Kadarwati dkk, 2010) serbuk kayu (Danarto dkk, 2010), tempurung kelapa (Joardder *et al.*, 2011), sekam padi (Xiujuan *et al.*, 2011), biji jarak, dan biji polang. Kondisi proses seperti reaktor fluida (*Fluidized bed reaktor*) (Jung *et al.*, 2008), reaktor berpengaduk (*Stirrer bed reaktor*) (Manasomboonphan and Junyapoon, 2012) dan jenis katalis juga berpengaruh terhadap proses pirolisis.

Teknologi pirolisis dapat memproduksi *bio-fuel* dengan rasio bahan bakar yang tinggi. Karena itu, pirolisis mendapat perhatian lebih sebagai metode yang efisien dalam mengubah biomassa menjadi *bio-fuel* dalam beberapa dekade ini (Demirbas, 2002). Tujuan akhir dari teknologi ini adalah untuk memproduksi bio-oil dalam jumlah banyak untuk berkompetisi dan menggantikan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui. Bagaimanapun, perkembangan teknologi kedepannya adalah untuk meneliti metode pirolisis dalam mencapai target tersebut. Hal ini sangat

dibutuhkan dalam mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar cair untuk menggantikan diesel dan bensin pada kendaraan, kereta, kapal, dan pesawat (Demirbas, 2004).

Cara yang digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja proses pirolisis adalah dengan membandingkan jumlah komponen gas, cair, dan padatan yang dihasilkan. Komposisi produk pirolisis dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu bahan baku dan kondisi proses pirolisis yang diterapkan. Salah satu metode yang digunakan untuk karakterisasi bahan bakar cair adalah kromatografi gas dan spektrometri massa (GC-MS), yang dimaksudkan untuk mengidentifikasi senyawa yang menjadi komponen bahan bakar cair.

D. Prinsip Pirolisis

Biomassa adalah satu dari sumber energi utama yang sering digunakan oleh manusia. Biomassa masih menjadi sumber energi utama bagi negara berkembang. Dalam pengolahannya menjadi bahan bakar cair, biomassa dapat diproses dengan menggunakan beberapa metode. Dewasa ini, terdapat tiga cara utama yang digunakan untuk mengekstrak energi biomassa, yaitu pembakaran (eksotermik), gasifikasi (eksotermik), dan pirolisis (endotermik). Pembakaran adalah uap dari bahan bakar yang mana dapat mengoksidasi biomassa secara keseluruhan dan mentransfernya menuju panas. Efisiensi dari metode ini hanyalah 10% dan cara ini adalah sumber dari polusi (Pei-dong *et al.*, 2007; Thornley *et al.*, 2009). Gasifikasi adalah bagian

dari proses pengoksidasian yang mengkonversi bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas, sementara pirolisis adalah tahap pertama dari kedua proses pembakaran dan gasifikasi (Somerville, 2005).

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 gasifikasi dan pembakaran (Gronli *et al.*, 2002), yang terdiri dari degradasi termal dari bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas dan cair tanpa perantara oksidasi.

Pirolisis proses 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 (Fisher *et al.*, 2002). 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. Laju dari tiap dekomposisi dari komponen-komponen ini bergantung pada temperatur dari reaktor (pirolisis); laju pemanasan biomassa; pengaturan reaktor; dan bahan baku.

E. Jenis-Jenis Pirolisis

Berdasarkan kondisi pengoperasian, pirolisis dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama; *slow*, *fast*, dan *flash*. Dalam prosesnya, jenis-jenis pirolisis ini berbeda dalam temperatur, laju pemanasan, ukuran partikel biomassa dll.

Bagaimanapun, distribusi produk tetap tergantung dari jenis pirolisis dan parameter operasi pirolisis yang ditunjukkan pada Tabel 1. Perbedaan tipe dari tiga jenis pirolisis ini dijelaskan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan pengoperasian dan produk dalam proses pirolisis (Balat *et al.*, 2009; Bridgwater *et al.*, 2001).

Jenis Pirolisis	Waktu Tinggal (s)	Laju Panas (K/s)	Ukuran Partikel (mm)	Suhu (K)	Produk (%)		
					Minyak	Arang	Gas
<i>Slow</i>	450-550	0,1-1	5-50	550-950	30	35	35
<i>Fast</i>	0.5-10	10-200	<1	850-1250	50	20	30
<i>Flash</i>	<0.5	>1000	<0.2	1050-1300	75	12	13

1. *Slow Pyrolysis*

Slow pyrolysis telah digunakan selama ribuan tahun untuk meningkatkan produksi arang pada temperatur rendah dan laju pemanasan yang rendah. *Slow pyrolysis* memiliki batas yang membuatnya kurang baik untuk memproduksi *bio-oil*.

2. *Fast Pyrolysis*

Dalam proses *fast pyrolysis*, biomassa secara cepat dipanaskan hingga suhu tinggi tanpa adanya oksigen. *Fast pyrolysis* memproduksi 60%-75% produk minyak (minyak dan produk cair lainnya) dengan 15%-25% padat (terutama arang) dan 10%-20% fase gas tergantung pada bahan baku yang digunakan. Produksi berupa cairan biasanya didapatkan dari biomassa dalam temperatur rendah, laju pemanasan yang tinggi dan waktu yang singkat. 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, 2010; Chiaramonti *et al.*, 2003; Bridgwater, 2005).

3. *Flash Pyrolysis*

Flash pyrolysis menjanjikan proses untuk produksi bahan bakar padat, cair dan gas yang didapat mencapai 75% (Demirbas, 2000). Namun proses ini memiliki batasan, seperti; stabilitas termal yang buruk dan kekorosifan minyak, padatan dalam minyak, peningkatan viskositas terhadap waktu oleh aksi katalitik arang, alkali terkonsentrasi dalam arang larut di dalam minyak, dan menghasilkan air pirolitik (Cornelissen *et al.*, 2008).

F. *Crude Palm Oil (CPO) Parit*

Salah satu sumber bahan baku untuk pembuatan liquid fuel yang dapat diproduksi secara massal di Indonesia adalah minyak kelapa sawit (CPO). CPO (Crude Palm Oil) adalah minyak sawit mentah yang dihasilkan dari produksi minyak sawit. Adapun ketersediaan CPO di Indonesia sangat melimpah, terutama di wilayah Sumatera. Sehingga sangat memungkinkan untuk membuat pabrik pembuatan liquid fuel berbahan baku CPO di Sumatera. Namun, jika *liquid fuel* diproduksi dari CPO maka akan mengganggu pasokan untuk keperluan industri lain yang berbasis CPO misalnya industri minyak goreng, margarin, surfaktan, industri kertas, industri polimer dan industri kosmetik. Salah satu sumber bahan baku pembuatan *liquid fuel* yang banyak dilirik saat ini adalah CPO parit (limbah cair CPO). CPO parit adalah CPO yang terikat pada air limbah pabrik minyak sawit. Penggunaan fraksi minyak CPO parit sebagai bahan baku pembuatan *liquid fuel* akan memberikan keuntungan ganda yaitu meniadakan pencemaran limbah terhadap air tanah dan sungai, menekan harga pokok produksi CPO (transfer pricing), dan memperoleh CDM (Clean Development Mechanism).

CPO parit memiliki kandungan CPO yang relatif sedikit yaitu sekitar 2% dari jumlah CPO keseluruhan yang dihasilkan. Komposisi yang terdapat dalam minyak CPO parit terdiri dari trigliserida-trigliserida (mempunyai kandungan terbanyak dalam minyak nabati), asam lemak bebas/FFA, monogliserida, dan digliserida, serta beberapa

komponen-komponen lain seperti fosfoliserida, vitamin, mineral, atau sulfur (Mittelbach *et al.*, 2004).

G. Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang dapat meningkatkan laju reaksi dengan tidak ikut terpakai. Katalis ikut bereaksi dalam perannya namun dapat diperoleh kembali pada tahap reaksi selanjutnya. Selain itu katalis juga dapat menekan energi aktivasi untuk meningkatkan laju reaksi kimia. Katalis bekerja dengan cara memberikan reaksi alternatif untuk meningkatkan fraksi molekul dengan energi melebihi energi aktivasi sehingga terjadi mekanisme yang berbeda. Dalam proses pirolisis untuk menghasilkan bahan bakar cair, dibutuhkan katalis yang mampu menurunkan suhu pirolisis menjadi serendah mungkin. Dalam hal ini, pembuatan bahan bakar cair dengan menggunakan metode pirolisis menggunakan katalis heterogen.

Perkembangan katalis di dalam dunia kimia telah mengalami perkembangan yang cukup signifikan. Berbagai jenis katalis telah dikembangkan dalam beberapa decade ini seperti γ -alumina (Wijanarko dkk, 2006), Pd/C (Choi *et al.*, 2014), aluminium 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).

Zeolit dibagi menjadi dua jenis, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis. Zeolit yang sering digunakan sebagai katalis adalah zeolit sintetis, hal ini yang menjadi dasar gagasan untuk membuat zeolit sintetis dalam penelitian ini.

H. Zeolit

Zeolit merupakan kristal alumina silika yang berstruktur tiga dimensi dari tetrahedral alumina dan silika dengan rongga-rongga di dalam yang berisi ion-ion logam, biasanya alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas, secara empiris, rumus molekul zeolit adalah $M_{n/m}^{m+} \cdot [Si_{1-n}Al_nO_2] \cdot nH_2O$. Zeolit dapat ditemukan secara alami (zeolit alam) dan dapat pula dibuat dengan teknik tertentu (zeolit sintetis). Zeolit sintetis memiliki karakteristik yang berbeda dengan zeolit alam. Jika karakteristik zeolit alam tergantung dengan kondisi geologis dan geografis alam, maka karakteristik zeolit sintetis hanya dipengaruhi oleh teknik sintesis, kondisi proses pembuatan serta komposisi bahan baku (Auerbach *et al.*, 2003).

Zeolit alam biasanya mengandung banyak impuritas, pori-porinya tidak seragam, dan kekuatan asamnya juga lebih sulit dikontrol. Sedangkan zeolit sintetis memiliki struktur yang lebih teratur sehingga membentuk pori-pori yang seragam dan terstruktur juga. Zeolit juga memiliki luas permukaan yang luas. Karakteristik ini yang membuat zeolit sintetis memiliki potensi sebagai adsorben. Kekuatan asam zeolit sintetis juga dapat dikontrol, yang menjadikannya salah satu katalis yang banyak diminati oleh industri kimia.

Struktur zeolit sejauh ini diketahui bermacam-macam, tetapi secara garis besar strukturnya terbentuk dari unit bangunan primer, berupa tetrahedral yang kemudian menjadi unit bangun sekunder poli herdral dan membentuk polihendra dan akhirnya unit struktur zeolit (Auerbach *et al.*, 2003). Struktur Kristal zeolit merupakan salah satu karakteristik penting dari zeolit. Struktur tersebut dapat dianalisis dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD).

I. Zeolit Sintetik

Zeolit sintetik adalah zeolit yang dibuat dengan mereaksikan bahan baku yang mengandung silika dan alumina, dengan menambahkan komponen minor yang diinginkan. Karena zeolit sintetik dibuat dari bahan baku murni, komposisi zeolit sintetik dapat diatur dan memiliki tingkat kemurnian tinggi. Seiring dengan semakin berkembangnya riset tentang zeolit sintetik, saat ini telah terdapat begitu banyak jenis zeolit sintetik, beberapa diantaranya ditunjukkan pada Tabel 2

Zeolit sintetik dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok berdasarkan nisbah Si/Al. Zeolit sintetik dengan kadar Si rendah, zeolit jenis ini banyak mengandung aluminium, berpori, mempunyai nilai ekonomis yang cukup tinggi dikarenakan cukup efektif dalam proses pemisahan dengan skala besar. Zeolit jenis ini memiliki volum pori sebesar $0,5 \text{ cm}^3$ tiap cm^3 zeolit. Zeolit sintetik dengan kadar Si sedang, contoh zeolit jenis ini adalah zeolit omega dengan nisbah Si/Al = 1:3. Zeolit sintetik dengan

kadar Si tinggi, zeolit jenis ini sangat higroskopis dan mudah menyerap molekul nonpolar sehingga baik untuk digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon.

Tabel 2. Beberapa zeolit sintetis yang telah diproduksi (Georgiev *et al.*, 2009).

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

J. Silika Sekam Padi

Silika adalah senyawa hasil polimerisasi asam silikat yang tersusun dari rantai SiO_4 tetrahedral dengan rumus umum SiO_2 . Senyawa silika dapat ditemukan di alam, seperti pada pasir kuarsa, gelas, dan sebagainya. Sebagai senyawa kimia, silika yang terdapat di alam berbentuk kristalin, sedangkan sebagai senyawa sintesis adalah amorf (Sulastri, 2010). Silika amorf terbentuk ketika silikon mengalami oksidasi secara termal. Silika amorf terdapat dalam beberapa bentuk yang tersusun dari partikel-partikel kecil yang kemungkinan ikut bergabung dan memiliki kerapatan $2,21 \text{ gr/cm}^3$ (Harsono, 2002). Kandungan silika sekam padi mencapai 20% dari bobot padi yang ada pada setiap penggilingan (Widowati, 2011). Unsur lain yang terdapat dalam sekam padi seperti K_2O , CaO , MgO , SO_4 , Al_2O_3 , Fe_2O_4 , dan Na_2O .

Tabel 3. Komposisi (%) sekam padi (Sharma, 1984)

Komposisi	Kandungan (% Berat)
Senyawa-senyawa Organik	73,87
SiO ₂	22,12
Al ₂ O ₃	1,23
Fe ₂ O ₃	1,28
CaO	1,24
MgO	0,21
MnO ₂	0,074

Suka dkk (2008) telah melakukan karakterisasi silika dari sekam padi Provinsi Lampung dengan menggunakan metode ekstraksi. Preparasi yang dilakukan adalah dengan merendam sekam padi selama 2 jam dan dicuci berulang kali dengan air panas untuk menghilangkan pengotor organik. Sekam padi yang telah bersih lalu 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 sangat didukung dengan hasil karakterisasi dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) yang menunjukkan bahwa silika adalah amorf dengan fase kristobalit. Komponen lain yang terkandung dalam silika sekam padi berdasarkan karakterisasi dengan menggunakan EDX adalah O, Na, Mg, Al, Si, K, dan Ca.

Pemanfaatan silika sekam padi saat ini telah banyak ditemukan. Sebagai contoh, silika telah dimanfaatkan secara luas untuk pembuatan keramik, katalis (Hsin, 2010; Pandiangan, 2013), berbagai material komposit (Suka, 2009; Handayani, 2009), zeolit (Syani, 2014), serta adsorben (Goswani, 2003; Amrullah, 2014). Goswani *et al.*

(2003) telah melakukan modifikasi silika gel dengan amino propil trietoksi silan dan selanjutnya dimodifikasi dengan 8-hidroksikuinolin. Modifikasi silika ini bertujuan untuk menjadikannya sebagai adsorben yang selektif terutama untuk mengadsorpsi ion-ion logam di lingkungan. Silika sekam padi juga dimanfaatkan untuk bahan pembuatan membran silikat untuk proses desalinasi (Fatmasari *et al.*, 2012).

Pemakaian silika yang demikian luas ini juga didukung oleh ketersediaan bahan serta kemudahan untuk memperoleh silika sekam padi yakni dengan cara ekstraksi dan pengabuan.

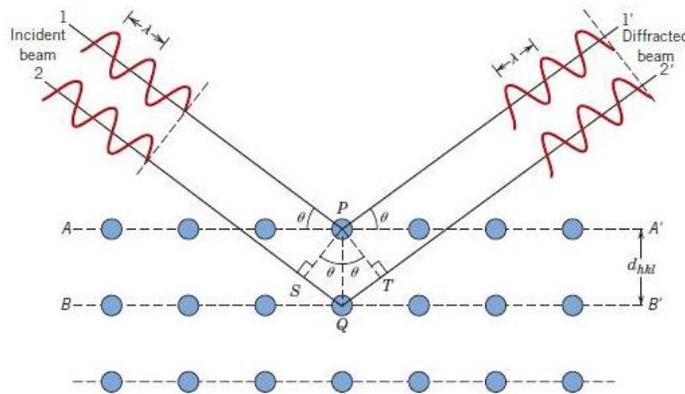
K. Karakterisasi Zeolit

1. X-Ray Diffraction (XRD)

Dalam Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengidentifikasi fasa suatu katalis dan untuk menentukan sifat kristal atau kristalinitas dari suatu katalis. Beberapa katalis berbentuk padatan kristal seperti oksida logam, zeolit, dan logam yang berpenyangga. Teknik yang cukup baik untuk mengevaluasi sifat-sifat fasa kristal dan ukuran adalah dengan menggunakan XRD.

Prinsip analisis menggunakan XRD adalah kristal katalis memantulkan sinar-X yang dikirimkan dari sumber dan diterima oleh detektor. Sinar-X yang mengenai suatu bahan akan dipantulkan sehingga menghasilkan spektrum pantulan yang spesifik dan berhubungan langsung dengan kisi kristal yang dianalisis. Pola dari difraksi lalu

dikelompokkan dengan intensitas peak yang menyatakan peta parameter kisi kristal atau indeks Miller (hkl) sebagai fungsi 2θ , dimana θ menyatakan sudut difraksi berdasarkan persamaan Bragg Richardson (1989). Pada persamaan interpretasi Hukum Bragg dilakukan berdasarkan asumsi bahwa permukaan dari mana sinar-X dipantulkan adalah datar. Hukum Bragg diturunkan berdasarkan karakteristik difraksi sinar-X oleh suatu zat seperti ditunjukkan dalam Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Pola difraksi sinar-X oleh suatu padatan

Pada persamaan interpretasi Hukum Bragg dilakukan berdasarkan anggapan bahwa permukaan dari sinar-X yang dipantulkan adalah datar.

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

Dari persamaan diatas, d menyatakan jarak antar lapisan atom atau ion yang saling berdekatan, λ yang menyatakan panjang gelombang radiasi sinar-X, dan n merupakan urutan pantulan.

Kristalinitas dapat pula dilihat menggunakan XRD melalui perbandingan intensitas atau luasan peak sampel dengan intensitas atau luasan peak standar yang ditunjukkan pada persamaan :

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

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

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

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

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

Karakteristik yang paling penting dari katalis logam berpenyangga adalah :

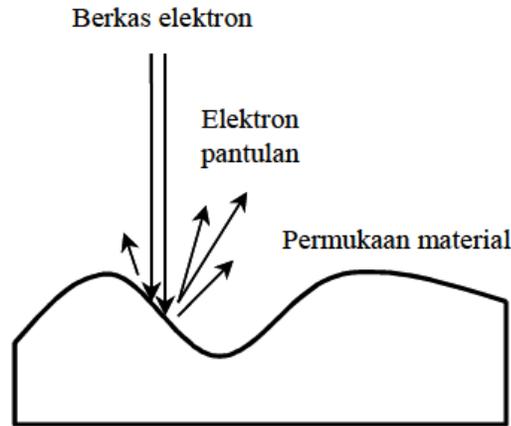
- Ukuran dan disperse kristal, yang merupakan fraksi atau jumlah bagian atom logam yang berhubungan dengan jumlah situs aktif

- Distribusi di dalam granul penyangga, yang menentukan akses ke situs-situs aktif
- Rasio antar permukaan kristal, yang mempunyai peran penting dalam reaksi sebagai struktur yang sensitif.

2. *Scanning Elektron Microscope (SEM)*

SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar profil permukaan benda. Prinsip kerja SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi seperti diilustrasikan pada Gambar 2. Permukaan benda yang dikenai berkas akan memantulkan kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Tetapi ada satu arah di mana berkas dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor di dalam SEM mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Arah tersebut memberi informasi profil permukaan benda seperti seberapa landai dan ke mana arah kemiringan.

Pada saat dilakukan pengamatan, lokasi permukaan benda yang ditembak dengan berkas elektron di-scan ke seluruh area daerah pengamatan. Kita dapat membatasi lokasi pengamatan dengan melakukan zoom-in atau zoom-out. Berdasarkan arah pantulan berkas pada berbagai titik pengamatan maka profil permukaan benda dapat dibangun menggunakan program pengolahan gambar yang ada dalam komputer.



Gambar 2. Pantulan berkas elektron berenergi tinggi dalam SEM

SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada mikroskop optik. Hal ini disebabkan oleh panjang gelombang de Broglie yang dimiliki elektron lebih pendek daripada gelombang optik. Makin kecil panjang gelombang yang digunakan maka makin tinggi resolusi mikroskop.

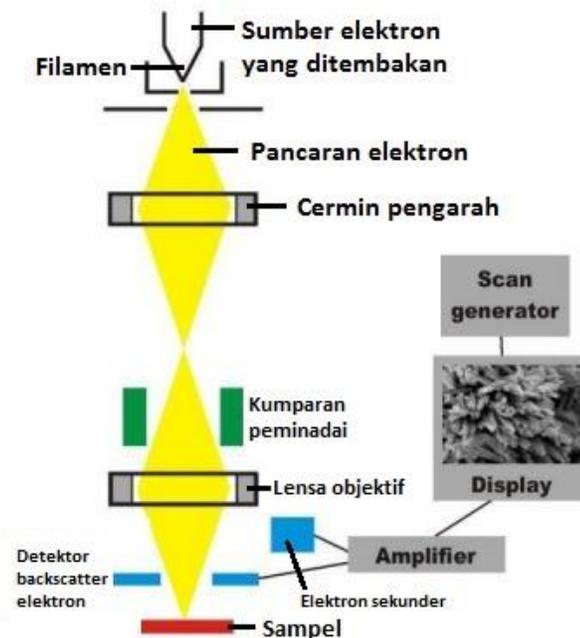
Dalam SEM, berkas elektron keluar dari filamen panas lalu dipercepat pada potensial tinggi V . Akibat percepatan tersebut, akhirnya elektron memiliki energi kinetik.

Umumnya, tegangan yang digunakan pada SEM adalah puluhan kiloVolt. Sebagai ilustrasi, misalkan SEM dioperasikan pada tegangan 20 kV maka panjang gelombang de Broglie elektron sekitar 9×10^{-12} m.

Syarat agar SEM dapat menghasilkan citra yang tajam adalah permukaan benda harus bersifat sebagai pemantul elektron atau dapat melepaskan elektron sekunder ketika ditembak dengan berkas elektron. Material yang memiliki sifat demikian adalah logam. Jika permukaan logam diamati dibawah SEM maka profil permukaan akan tampak dengan jelas.

Untuk material bukan logam seperti isolator, agar profil permukaan dapat diamati dengan jelas maka permukaan material tersebut harus dilapisi dengan logam. Film tipis logam dibuat pada permukaan material tersebut sehingga dapat memantulkan berkas elektron. Prinsip dasar dari SEM adalah interaksi antara berkas elektron dengan specimen padatan, seperti dilukiskan dalam Gambar 3.

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



Gambar 3. Skema alat *Scanning Elektron Microscope*

Elektron primer merupakan elektron berenergi tinggi yang dipancarkan dari sebuah katoda (Pt, Ni, W) yang dipanaskan. Katoda yang biasa digunakan adalah tungsten

(W) atau *lanthanum hexaboride* (LaB_6). Tungsten digunakan adalah sebagai katoda karena memiliki titik lebur yang paling tinggi dan tekanan uap yang paling rendah dari semua logam, sehingga memungkinkannya dipanaskan pada temperatur tinggi untuk emisi elektron.

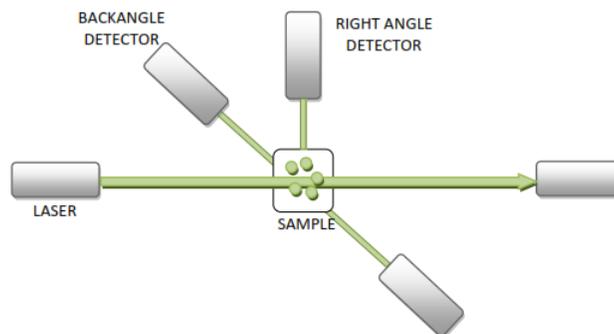
Elektron sekunder adalah elektron berenergi rendah, yang dibebaskan oleh atom pada permukaan, setelah permukaan dikenai oleh berkas elektron-elektron primer. Elektron sekunder inilah yang akan ditangkap oleh detektor dan mengubah sinyal tersebut menjadi suatu gambar, yang dikenal sebagai mikrograf.

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

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

3. *Particle Size Analyzer (PSA)*

PSA digunakan dalam proses karakterisasi untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel dari suatu sampel. Dalam penggunaan PSA, prinsipnya adalah berkas cahaya (laser) dilewatkan melalui sel berisi sampel. Sampel dengan ukuran besar ketika terkena cahaya dari laser akan membentuk berkas cahaya. Analisis dapat dilakukan dengan mendispersikan sampel dengan dua cara. Berdasarkan cara ini metode PSA dibagi menjadi metode basah dan metode kering. Pada sudut yang kecil dan sebaliknya. Sudut yang terbentuk akan diteruskan melewati satu dari dua detektor (*backangle detector* dan *right angle detector*), dan selanjutnya diteruskan ke pengolahan data menghasilkan kurva yang menunjukkan distribusi ukuran partikel sampel.



Gambar 4. Skema Alat PSA

Dalam praktiknya, analisis PSA metode basah dilakukan pelarut sebagai media pendispersi. Apabila digunakan sampel yang larut air maka digunakan pelarut organik, sedangkan untuk sampel yang larut pada pelarut organik, maka bias

digunakan air sebagai media pendispersinya. Hal ini dimaksudkan agar partikel tidak saling menyatu hingga menggumpal. Dalam metode kering, aliran udara dimanfaatkan untuk mendispersikan partikel. Metode ini baik digunakan untuk partikel yang bobotnya tidak terlalu ringan.

4. *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*

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

Analisis dengan menggunakan spektrofotometri IR memiliki prinsip dengan penyerapan radiasi elektromagnetik oleh gugus-gugus fungsi tertentu, sehingga dari spektrum serapan yang terbaca kita mampu mengetahui gugus fungsi apa saja yang terdapat pada suatu senyawa. Bila sinar inframerah dilewatkan melalui sebuah cuplikan, maka sejumlah frekuensi diserap oleh cuplikan tersebut dan frekuensi lainnya diteruskan atau ditransmisikan tanpa adanya penyerapan. Hubungan antara

persen absorbansi dengan frekuensi maka akan dihasilkan sebuah spektrum inframerah (Hardjono, 1992).

Analisis sampel komposit anorganik dengan menggunakan FTIR 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 silokasan (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.

FTIR dapat menunjukkan keberadaan 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 pada panjang gelombang sekitar $1440\text{-}1452\text{ cm}^{-1}$ (Platon and Thomson, 2003).

L. Karakterisasi *Liquid Fuel*

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

GC-MS adalah 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.

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

Namun, saat ini telah tersedia sistem kepastakaan senyawa dengan menggunakan analisis GC-MS, dan 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 telah ada dalam literatur.

2. Karakteristik Fisik

Analisis karakteristik fisik juga dibutuhkan untuk menentukan kelayakan suatu *liquid fuel*. 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.

Tabel 4. Syarat Mutu *Liquid Fuel* (SNI 7431:2008)

Parameter Uji	Satuan Min/Maks	Persyaratan
Masa Jenis	kg/m ³	900-920
Viskositas	mm ² /s (cSt)	Maks 36
Titik Nyala	°C	Min 100

A. Densitas

Densitas merupakan perbandingan antara berat persatuan volume minyak.

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

Salah satu parameter yang dapat dijadikan acuan kelayakan fisik *liquid fuel* adalah tingkat viskositas. Viskositas merupakan nilai yang menyatakan besarnya hambatan aliran suatu bahan cair. Viskositas disebabkan adanya gaya kohesi atau gaya tarik menarik antara molekul sejenis. Pengukuran viskositas suatu cairan dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain, metode bola jatuh, silinder konsentrik, metode *plate and cone*, piringan sejajar, dan metode kapilaritas (Hananto, 2011).

Jika nilai viskositas dari suatu bahan bakar cair tinggi, maka bahan bakar cair tersebut akan semakin sulit untuk mengalir (Wardan dan Zainal, 2003). Salah satu parameter yang cukup penting dalam penentuan mutu dari suatu bahan bakar cair adalah viskositas, karena bahan bakar cair yang baik harus memiliki nilai viskositas yang relatif rendah agar lebih mudah mengalir serta teratomisasi. Jika nilai viskositas

dari bahan bakar cair terlalu tinggi maka gesekan di dalam pipa akan semakin besar, kerja pompa akan berat dan proses penyaringannya akan sulit (Dyah, 2011).

C. Titik Nyala (*Flash Point*)

Suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul nyala api sesaat, jika pada permukaan minyak didekatkan dengan api adalah definisi dari titik nyala. Titik ini sangat diperlukan untuk pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Menurut SNI 7431:2008, titik nyala yang disarankan untuk bahan bakar minyak adalah minimal 100 °C.

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2016 hingga Juni 2017, bertempat di Laboratorium Kimia Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis FTIR dilakukan di Universitas Islam Indonesia (UII), Yogyakarta. Analisis XRD dilakukan di Laboratorium Pusat Teknologi Bagan Industri Nuklir (PTBIN). Analisis PSA dilakukan di laboratorium Pascapanen Bogor. Analisis SEM di laboratorium PPGL Bandung. Analisis GC-MS dilakukan di laboratorium Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

B. Alat dan Bahan

1. Alat-Alat yang Digunakan

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

2. Bahan-Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : CPO parit, bagas tebu, sekam padi, larutan NaOH 1,5 %, larutan HNO₃, akuades, indikator pH, kertas saring, batangan aluminium.

C. Prosedur Penelitian

1. Preparasi CPO parit

CPO parit yang telah membeku dikeruk menggunakan sendok dan dimasukkan dalam gelas kimia. CPO parit yang telah dimasukkan ke dalam gelas kimia dipanaskan menggunakan penangas. CPO parit yang telah mencair disaring untuk memisahkan kotoran yang ada di dalam CPO parit.

2. Preparasi Bagas Tebu

Bagas tebu atau ampas tebu diperoleh dari limbah pedagang minuman sekitaran Bandar Lampung. Bagas tebu kemudian dijemur hingga kering. Bagas tebu yang sudah kering dipotong hingga kecil, kemudian digiling hingga halus. Bubuk tebu siap untuk proses pirolisis.

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 di bilas beberapa kali menggunakan air panas untuk menghilangkan bahan organik larut air yang masih menempel pada sekam. Sekam padi yang telah bersih dikeringkan dan setelah kering limbah sekam padi siap untuk diekstraksi.

4. Ekstraksi Silika dari Sekam Padi

Sebanyak 50 gram sekam padi yang telah bebas dari pengotor bahan organik larut air direndam dalam 500 mL HNO₃ 1M kemudian didiamkan selama 24 jam.

Selanjutnya, sekam padi direndam dengan NaOH 1,5% dan dipanaskan hingga mendidih selama 30 menit. Kemudian sampel disaring dan filtrat yang mengandung silika terlarut ditampung. Silika dalam filtrat diendapkan dengan penambahan 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 Katalis Zeolit-Y

Pembuatan zeolit sintetik yaitu zeolit-Y ini akan dilakukan dengan sebanyak 40 gram NaOH dilarutkan kedalam 100 mL akuades dan larutan dibagi menjadi dua. Sebanyak 144 gram silika yang telah dibuat dicampurkan dengan 50 mL larutan NaOH kemudian diaduk hingga silika terlarut. Selanjutnya 27 gram alumunium dicampurkan kedalam larutan NaOH sebanyak 50 mL dan diaduk hingga

aluminium terlarut. Kedua larutan dicampurkan dengan menggunakan blender hingga homogen dan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 90°C. Bubuk sampel kemudian dikalsinasi.

6. Kalsinasi Zeolit-Y

Kalsinasi katalis dilakukan dengan disiapkan katalis dan dimasukkan kedalam tungku pemanasan (*furnace*) dan dihidupkan. Tungku pemanas diatur suhu kalsinasi untuk masing-masing katalis pada suhu 600, 700, 800, dan 900°C selama 6 jam. Setelah proses selesai, tungku pemanas dimatikan dan dibiarkan hingga mencapai suhu kamar. Sampel dikeluarkan dari tungku pemanas.

7. Karakterisasi Zeolit-Y

Karakterisasi zeolit akan dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengidentifikasi unsur-unsur dalam katalis yang diperoleh secara kuantitatif dan kualitatif, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa dan untuk menentukan sifat kristal atau kristalinitas dari sampel. Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) digunakan untuk memberi informasi tentang morfologi permukaan sampel, *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel dari suatu sampel, dan *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsi dari sampel.

8. Uji Reaksi Perengkahan

Uji perengkahan dilakukan dalam reaktor pirolisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Sebanyak 125 gram CPO parit ditambah 10 gram katalis dan 25 gram bagas tebu. Campuran tersebut dimasukkan kedalam reaktor pirolisis dan dilakukan proses pirolisis dengan memanaskan reaktor menggunakan *furnace* 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. Sebagai pembanding dilakukan reaksi perengkahan menggunakan sampel 150 gram minyak CPO parit dengan perlakuan yang sama seperti uji perengkahan pada campuran minyak CPO parit dan bagas tebu.



Gambar 5. Reaktor pirolisis

9. Karakterisasi *Liquid Fuel*

Karakterisasi *liquid fuel* menggunakan *Gas Chromatogtap-Mass Spectrometry* (GC-MS) dilakukan untuk mengidentifikasi komponen-komponen penyusun sampel dan uji fisik sebagai acuan kelayakan *liquid fuel* adalah densitas, viskositas, dan titik nyala (*flash point*).

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh pada penelitian ini, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. *Liquid fuel* hasil pirolisis campuran bagas tebu dan minyak CPO parit menggunakan katalis zeolit-Y memiliki kondisi optimum dengan variasi suhu kalsinasi yaitu 600, 700, dan 800 °C dengan rendemen berturut-turut sebesar 35,23%; 31,60%; dan 26,47%.
2. Hasil GC-MS *liquid fuel* dari pirolisis campuran bagas tebu dan minyak CPO parit menggunakan zeolit-Y 600, 700, dan 800 °C menunjukkan bahwa zeolit-Y 700 °C memiliki kategori senyawa hidrokarbon terbesar yaitu 85,54%.
3. Berdasarkan penelitian, *liquid fuel* dari campuran bagas tebu dan minyak CPO parit belum memenuhi SNI 7431:2008 untuk titik nyala, akan tetapi nilai densitas hampir mendekati nilai standar yaitu 0,9 gr/mL dan nilai viskositas terlalu rendah untuk mendekati nilai standar

4. Hasil karakterisasi katalis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), menunjukkan bahwa katalis zeolit-Y 600, 700, dan 800 °C masih amorf namun sudah terbentuk fasa nepheline, nephelite, maupun jadeite dan semakin tinggi suhu kalsinasi katalis maka semakin meningkat untuk terbentuknya fasa kristalinnya.
5. Hasil SEM menunjukkan pori pada morfologi permukaan katalis zeolit-Y 600, 700, dan 800 °C semakin tertutup ketika suhu kalsinasi katalis meningkat.
6. Distribusi ukuran partikel pada zeolit-Y 600, 700, dan 800 °C semakin besar ketika suhu kalsinasi zeolit-Y meningkat, dimana distribusi ukuran partikel berturut-turut sebesar 92.1 nm, 294 nm, dan 336 nm.
7. Hasil FTIR menunjukkan bahwa katalis zeolit-Y 600, 700, dan 800 °C merupakan situs asam Bronsted-Lowry.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, peneliti menyarankan untuk meneliti pengaruh jumlah katalis dan pengaruh suhu pirolisis dalam reaksi perengkahan campuran bagas tebu dan minyak CPO parit.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrulloh, H. 2014. Sintesis Zeolit Berbasis Silika Sekam Padi dengan Metode Elektrokimia Sebagai Adsorben Rhodamin B. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. hlm 13-52.
- Antal, M.J. and Grönli, M. 2003. The Art, Science, and Technology of Charcoal Production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 42, pp. 1619–1640.
- Arnata, I. W, M.A.A, dan Anggraeni, D. 2013. Rekayasa Bioproses Produksi Bioetanol dari Ubi Kayu Dengan Teknik Ko-Kultur Ragi Tape dan *Saccaromyces Cerevisiae*. *Agointek*, 7 (1), hlm. 21-28.
- Auerbach, S., Carrado, K., and Dutta, P., 2003. *Hand book of zeolite science and technology*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Ayyad, O.D. 2011. Novel Strategies The Synthesis of Metal Nanoparticle and Nanostructure. (Thesis). Univesitat de Barcelona. Barcelona. pp.48-49.
- Azis, M. 2010. *Ekstraksi Alumina dari Residu Bauksit Untuk Bahan Baku Zeolit Sintetis Dengan Produk Samping Konsentrat Besi*. Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara. Bandung. hlm. 54-55.
- Balat, M., M. Balat, E. Kirtay, and H. Balat. 2009. Main Routes for The Thermo-Conversion of Biomass Into Fuels and Chemicals Part 1: Pyrolysis Systems. *Energy Conversion and Management*. 50, pp. 3147-3157.
- Bridgwater, A.V., S. Czernik, and J. Piskorz. 2001. An Overview of Fast Pyrolysis. *Program Thermochemical Biomass Conversion*. 2, pp. 977–997.
- Bridgwater, T. 2007. *Pyrolysis of Biomass*. IEA Bioenergy. Birmingham, UK. pp. 1-20.
- Chiamonti, 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, pp. 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, pp. 121-126.

- Cornelissen, T., Y. Yperman, G. Reggers, S. Schreurs, and R. Carleer. 2008. Flash Co-Pyrolysis of Biomass with Polylactic Acid. Part 1: Influence on Bio-Oil Yield and Heating Value. *Fuel* 2008. 87, pp. 1031–1041.
- Cresswell, C.J., A.O, Runquist, Campbel, dan M. Malcom. 1982. Analisis Spektrum Senyawa Organik Edisi ke-2. ITB Press. Bandung. hlm. 120-145.
- Danarto, C.Y., Utomo, P. B., Sasmita, F. 2010. Pirolisis Limbah Kayu dengan Katalisator Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, Yogyakarta. pp 1-6.
- Demirbas, A. 2000. Conversion of Biomass Using Glycerine to Liquid Fuel for Blending Gasoline as Alternative Engine Fuel. *Energy Conversion and Management*. 41, pp. 1741-1748.
- Demirbas, A. 2002. Partly chemical analysis of liquid fraction of flash pyrolysis products from biomass in the presence of sodium carbonate. *Energy Conversion and Management*. 43, pp. 1801-1809.
- Demirbas, A. 2004. Current technologies for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. *Energy Source Part A*. 26, pp. 715–730.
- Duan, P. and Savage, P. E. 2011. Catalytic Hydrotreatment of Crude Alga Bio-Oil in Supercritical Water. *Applied Catalysis B: Environmental*. 104, pp. 136-143.
- Dyah, P. S. 2011. Produksi Biodiesel dari Mikroalga *Chlorella* sp dengan Metode Esterifikasi In-Situ. (Tesis). Universitas Diponegoro. Jawa Tengah. hlm. 42-45.
- Fatmasari, S.R., Damayanti, A., danYuswarini,E. 2012. Pemanfaatan Silika Sekam Padi sebagai Bahan Baku Pembuatan Membran untuk Desalinasi Air Laut. *Scientific Conference of Environmental Technology IX Surabaya*. hal 1-6.
- 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, pp. 331–349.
- Georgiev, D., B. Bogdanov, K. Angelova, I. Markovska, and Y. Hristov. 2009. Synthetic Zeolites - Structure, Clasification, Current Trends In Zeolite Synthesis Review. *Technical Studies*. 7, pp. 1-5.
- Goswani, A., Singh, A. K., Venkataramani. 2003. 8-Hidroxyquinoline anchored to silica gel via new moderate size linker: synthesis and applications as ametal ion collector for their flame atomic absorption spectrometric determination. *Talanta*. 60, pp 1141-1154.
- Gronli, M.G.; Varhegyi, G.; Blassi, C.D. 2002. Thermogravimetric analysis and devolatilization kinetics of wood. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 41, pp. 4201–4208.

- Hakiki, R. 2009. *Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Biodiesel Berbahan Baku CPO Parit Dengan Reaksi Metanolisis Kapasitas 13.000 Ton/Tahun*. (Tugas Akhir). Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Hlm. 2-3.
- Hananto, F.S., D.R. Santoso, and Julius. 2011. Application of Piezoelectric Material Film PVDF (Polyvenylidene Flouride) as Liquid Viscosity Sensor. *Journal of Neutrino*. 3 (2), pp. 129-142.
- Handayani, E. 2009. *Sintesa Membran Nanokomposit Berbasis Nanopartikel Biosilika dari Sekam Padi dan Kitosan Sebagai Matriks Biopolimer*. (Tesis). Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Hlm. 34-35.
- Harsono H. 2002. Pembuatan silika amorf dari limbah abu sekam padi. Fakultas MIPA Universitas Brawijaya. *Jurnal Ilmu Dasar*. 3 (2), hlm. 98-103.
- Hsin, Tse-Ming., Chen, S., and Guo, E. 2010. Calcium Containing Silicate Mixed Oxide-Based Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production. *Topics Catalyt*. 53, pp 746-754.
- Joarddder, M. U. H., Islam, M. R., and Beg. M. R.A 2011. Pyrolysis of Coconut Shell for Bio Oil. *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering Dhaka Bangladesh*. Pp. 12-20
- Jung, S., B. Kang, and J. Kim. 2008. Production of Bio-Oil from Rice Straw and Bamboo Sawdust Under Various Reaction Condition in a Fast Pyrolysis Plant Equipped with a Fluidized Bed and a Char Separation System. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 82, pp. 240-247.
- Kadarwati, S. Susantyo, B. E., Ekowati, D. 2010. Aktivitas Katalis Cr/Zeolit Alam Pada Reaksi Konversi Minyak Jelantah Menjadi Bahan Bakar Cair. Universitas Negeri Semarang. 8, hlm. 9-16.
- 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, pp. 987-996.
- Manasomboonphan, W., and Junyapoon, S. 2012. Production of Liquid Fuels from Waste Lube Oils Used by Pyrolysis Process. *International Conferenceon Biomedical Engineering and Technology*. 34, pp. 130-133.
- Masuda, T., Kondo Y., Miwa M., Shimotori, T., Mukai, S, R., Hasimoto, K., Takono, M., Kawasaki, and Yoshida, S. 2001. Recovery of useful Hydrocarbons from Oil Palm Waste using ZrO₂ Supporting FeOOH catalyst. *Chemical Engineering Science*.56, pp. 897-904.
- 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. Lampung.
- Mittelbach, M. Remschmidt, and Claudia. 2004. *Biodiesel The Comprehensive Handbook*. Vienna. Boersdruck.
- Mohan, D.; Pittman, C.U.; Steele, P.H. 2006. Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-Oil: A Critical Review. *Energy Fuels*. 20, 848–889.
- Murni, D dan Helmawati. 2006. *Studi Pemanfaatan Abu Sabut Sawit Sebagai Sumber Silika Pada Sintesis Zeolit 4A*. Universitas Riau. Pekanbaru.
- 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. Catalyst. *World Applied Sciences Journal 5(Special Issue for Environment)*. Pp. 74-79
- Nasikin. M. dan A. Makhdiyanti. 2003. Sintesis Metil Ester Sebagai Aditif Bahan Bakar Solar dari Minyak Sawit. *Jurnal Teknologi*. 1, pp. 45-50.
- 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) hlm. 37-43.
- Padil, S. dan A. Amir. 2012. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Melalui Reaksi Metanolisis Menggunakan Katalis CaCO_3 yang Dipijarkan. *Natur Indonesia*. 13 (1), hlm. 27-32.
- Pandiangan, K. D., and W. Simanjuntak. 2013. Transesterification of coconut oil using dimethyl carbonate and $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ heterogeneous catalyst. *Indonesian Journal of Chemistry*. 13 (1), pp. 47–52.
- Pandiangan, K. D., G. S. 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. hlm. 342-353.
- Pei-dong, Z., Guomei, J., and Gang, W. 2007. Contribution to Emission Reduction of CO_2 and SO_2 by Household Biogas Construction In Rural China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11, pp. 1903–1912.
- Platon A., and J.W. Thomson. 2003. Quantitative Lewis/ Brønsted Ratios using DRIFTS. *Applied Catalysis Industrial Engineering Chemistry Research*. 42, pp. 5988-5992

- Prasad, R., and M. Pandey. 2012. Rice husk ash as a renewable source for the production of value added silica gel and its application: an overview. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 7, pp. 114-121.
- 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), pp. 20-25.
- Ratnasari, F. 2011. *Pengolahan Cangkang Kelapa Sawit Dengan Teknik Pirolisis Untuk Produksi Bio-Oil*. (Tugas Akhir). Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Hlm. 1-4.
- Richardson, J.T. 1989. *Principles of Catalyst Development*. Plenum Press. New York. pp. 586-589.
- Sembiring, S. dan P. Karo-karo. 2008. Pengaruh suhu sintering terhadap karakteristik termal dan mikrostruktur silika sekam padi. *Jurnal Sains MIPA*. 13 (3), pp. 233-239.
- Sharma, N. K., W. S. Williams, and Zangvil, A. 1984. Formation and Structure of Silicon Carbide Whiskers from Rice Hulls. *Journal American Ceramic Society*. 67, pp. 715-720.
- Sitorus, T. K. 2009. *Pengaruh Penambahan Silika Amorf dari Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanis dan Sifat Fisis Mortar*. (Skripsi). Universitas Sumatera Utara. Hlm. 31-35.
- Socrates, G. 1994. *Infrared Spectroscopy*. Chicester. John Willey & Son Ltd.
- Somerville, C. 2005. Energy from Biomass; Workshop Presentation for the Inter Academy Council Study Report; Lighting the Way: Towards Sustainable Energy Future. IAC: Amsterdam. The Netherlands.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. Mutu dan Metode Uji Minyak Nabati Murni Untuk Bahan Bakar Diesel Putaran Sedang. *Energi dan Sumber Daya Mineral*.
- Suka, I.G., A. Riyanto, dan S. Sembiring. 2009. Karakteristik Fungsionalitas Borosilikat Berbasis Sekam Padi Akibat Pengaruh Kalsinasi. *Prosiding SN SMAP 09*.
- Sulastri S. dan Kristianingrum S. 2010. Berbagai macam senyawa silika: sintesis, karakterisasi dan pemanfaatan. *Prosiding seminar nasional penelitian*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta. hlm. 211-216.
- Sunarno dan Silvia R. Y. 2013. *Pembuatan Zeolit Sintetis dan Aplikasinya Sebagai Katalis pada Cracking Cangkang Sawit Menjadi Bio-Oil*. Jurusan Teknik Kimia, Universitas Riau. Pekanbaru. hlm. 35-36.

- Syani, F. 2014. Sintesis zeolit berbasis silika sekam padi dengan metode elektrokimia sebagai katalis transesterifikasi minyak kelapa. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hlm. 1-89.
- Tanabe, K. 1981. *Solid Acid and Base Catalyst in Catalysis Science and Technolgy*. Springer-Link. Berlin. pp. 231-273.
- Thornley, P., Upham, P., Huang, Y., Rezvani, S., Brammer, J., and Rogers, J. 2009. Integrated assessment of bioelectricity technology options. *Energy Policy*. 37, pp. 890–903.
- Tri, A, A, M. 2011. Pemanfaatan Jagung Sebagai Bioetanol dengan Proses Fermentasi dan Hidrolisa H_2SO_4 . (Skripsi). Universitas Diponegoro Semarang. Hlm. 9-10.
- 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, pp. 95-107.
- Ulfah, E. M., F. A. Yaasnur, dan Istadi. 2006. *Optimasi Pembuatan Katalis Zeolit X dari Tawas, NaOH dan Water Glass Response Surface Methodology*. Jurusan Teknik Kimia, Universitas Diponegoro. Semarang. hlm. 26-28
- Utomo, Y. P. 2012. Pemanfaatan Abu Terbang Batubara Untuk Bahan Baku Zeolit Melalui Perlakuan Asam Klorida (HCl) dan Natrium Hidroksida (NaOH). (Skripsi). Universitas Pembangunan Nasional Veteran. Surabaya. hlm. 1-2.
- Venderbosch, R.H.; Prins, W. 2010. Review: Fast pyrolysis technology development. *Biofuel*. 4, pp. 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, pp. 17-26.
- Wardan, S. dan A. Zainal. 2003. *Bahan Bakar dan Pelumas*. Fakultas Teknik UNY. Yogyakarta. hlm. 1-56.
- Widowati, S. 2001. Pemanfaatan Hasil Samping Penggilingan Padi dalam Menunjang Sistem Agroindustri di Pedesaan. *Buletin AgroBio*, 4 (1), pp. 33-38
- Wijanarko, A., D.A. Mawardi dan M. Nasikin. 2006. Produksi Biogasoline dari Minyak Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik dengan Katalis γ -Alumina. *Makara Teknologi*. 10 (2), pp. 51-60.
- Wiranti, F.V. 2012. Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Struktur dan Mikrostruktur Komposit Aluminosilikat $3Al_2O_3.SiO_2$ Berbahan Dasar Silika Sekam Padi. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. hlm. 8-36.

- Wolfovich, M.A., M.V. Landau, A. Brenner, and M. Herskowitz. 2004. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 43, pp. 5089-509
- Xiao, B.; Wang, Y.Y.; Su, Q. 2006. The research of treating municipal solid waste by gasification. *China Resources Comprehensive Utilization*. 24, pp. 18–20.
- Xiujuan, G., W. Shurong, W. Qi, G. Zuagang, and L. Zhogyang. 2011. Properties of Bio-Oil from Fast Pyrolysis of Rice Husk. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 19 (1), pp. 116-121.
- Yelmida, I. Z., dan F. Akbar. 2012. Perengkahan PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) Dengan Katalis Zeolit Sintetis Untuk Menghasilkan Biofuel. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 9 (1), pp. 45-50.