

**SINTESIS ZEOLIT-A BERBASIS SILIKA SEKAM PADI SEBAGAI
KATALIS UNTUK PENGOLAHAN CAMPURAN SEKAM PADI
BEBAS SILIKA DAN MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI
BAHAN BAKAR CAIR DENGAN METODE PIROLISIS**

(Skripsi)

Oleh

RIZKI GILANG GUMELAR



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRACT

SYNTHESIS OF ZEOLITE-A FROM RICE HUSK SILICA AND ALUMINUM FOIL AS A CATALYST FOR LIQUID FUEL PRODUCTION BY PYROLYSIS OF MIXED SILICA FREE RICE HUSK AND PALM OIL

By

RIZKI GILANG GUMELAR

In this research, the synthesized zeolite-A from rice husk silica and aluminum foil was used as a catalyst for pyrolysis of silica free rice husk and palm oil to produce liquid fuel. Zeolite samples were synthesized by the hydrothermal method at different crystallization time of 72, 96, and 120 hours, and the resulted products were symbolized by Zeo-72, Zeo-96, and Zeo-120. XRD analysis showed the coexistence of zeolite-A and sodalite in the Zeo-72 and Zeo-96 samples, while in the Zeo-120 only sodalite was detected. SEM analysis indicates heterogeneous surface morphology, which is in accordance with the results of PSA analysis, and the FTIR analysis indicated the same functional groups in all three samples. The liquid fuel produced by pyrolysis using Zeo-96 catalyst has a hydrocarbon content of 93.59% and subsequently fractionated to produce a light fraction with a hydrocarbon content of practically 100% belongs to biogasoline.

Keywords: zeolit-A, silica free rice husk, palm oil, pyrolysis, liquid fuel, biogasoline.

ABSTRAK

SINTESIS ZEOLIT-A BERBASIS SILIKA SEKAM PADI SEBAGAI KATALIS UNTUK PENGOLAHAN CAMPURAN SEKAM PADI BEBAS SILIKA DAN MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI BAHAN BAKAR CAIR DENGAN METODE PIROLISIS

Oleh

RIZKI GILANG GUMELAR

Dalam penelitian ini, telah dilakukan sintesis zeolit-A dari silika sekam padi dan aluminium foil yang digunakan sebagai katalis pada proses pirolisis sekam padi bebas silika dan minyak kelapa sawit untuk menghasilkan bahan bakar cair. Sampel zeolit disintesis dengan metode hidrotermal pada variasi waktu kristalisasi 72, 96, dan 120 jam, dan hasil yang didapatkan disimbolkan dengan Zeo-72, Zeo-96, dan Zeo-120. Analisis XRD menunjukkan adanya fasa kristalin dan amorf pada Zeo-72 dan Zeo-96. Fasa kristalin yang terbentuk adalah zeolit-A dan sodalit. Sampel Zeo-120 mengandung fasa kristalin sodalit dan fasa amorf. Analisis SEM mengindikasikan morfologi bentuk permukaan yang heterogen. Analisis PSA menunjukkan ukuran distribusi partikel yang berbeda-beda, dan analisis FTIR mengindikasikan gugus fungsi yang sama pada ketiga sampel. Bahan bakar cair hasil pirolisis menggunakan katalis Zeo-96 memiliki kandungan hidrokarbon sebesar 93,59% dan selanjutnya difraksinasi menghasilkan fraksi ringan dengan kandungan hidrokarbon sebesar 100%, dan berdasarkan panjang rantai karbonnya termasuk biogasolin.

Kata kunci : zeolit-A, sekam padi bebas silika, minyak kelapa sawit, pirolisis, bahan bakar cair, biogasolin.

**SINTESIS ZEOLIT-A BERBASIS SILIKA SEKAM PADI SEBAGAI
KATALIS UNTUK PENGOLAHAN CAMPURAN SEKAM PADI
BEBAS SILIKA DAN MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI
BAHAN BAKAR CAIR DENGAN METODE PIROLISIS**

Oleh

RIZKI GILANG GUMELAR

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi

: **SINTESIS ZEOLIT-A BERBASIS SILIKA
SEKAM PADI SEBAGAI KATALIS UNTUK
PENGOLAHAN CAMPURAN SEKAM PADI
BEBAS SILIKA DAN MINYAK KELAPA
SAWIT MENJADI BAHAN BAKAR CAIR
DENGAN METODE PIROLISIS**

Nama Mahasiswa

: **Rizki Gilang Gumelar**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1517011044

Jurusan

: Kimia

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

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

Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.
NIP 19721205 199703 2 001

2. Ketua Jurusan Kimia

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

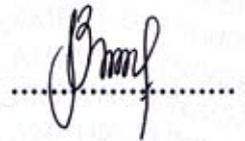
Ketua

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



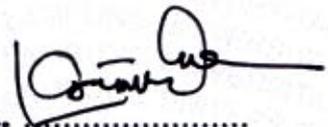
Sekretaris

: **Dr. Kamisah D. Pandliangan, M.Si.**



Penguji

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

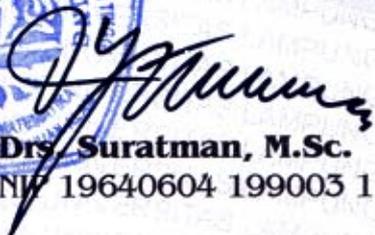


2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.

NIP 19640604 199003 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **18 Juni 2019**

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Rizki Gilang Gumelar, lahir di Pringsewu pada tanggal 31 Oktober 1997 merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara, yang lahir dari pasangan suami istri Bapak Hari Pramono Yugo dan Ibu Siti Hidayati. Penulis sekarang bertempat tinggal di Desa Wonokriyo RT 01/RW 06, Kelurahan Wonodadi, Kecamatan Gadingrejo, Pringsewu, Lampung. Penulis Menyelesaikan Pendidikan dari TK Aisyah Bustanul Athfal lulus pada tahun 2003, SD Negeri 6 Wonodadi lulus pada tahun 2009, SMP Negeri 1 Gadingrejo lulus pada tahun 2012, SMA Muhammadiyah Pringsewu lulus pada tahun 2015, dan pada tahun yang sama penulis melanjutkan ke perguruan tinggi di Jurusan S1 Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN)

Selain belajar di bangku kuliah penulis juga aktif berorganisasi. Organisasi yang pernah diikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) sebagai Kader Muda Himaki tahun 2015-2016 dan anggota Bidang Kesekretariatan tahun 2016. Penulis pernah aktif di Rohani Islam (ROIS) FMIPA Unila sebagai Anggota Muda ROIS (AMAR) tahun 2015, anggota Badan Semi Otonom Bimbingan Belajar Qur'an (BSO BBQ) tahun 2015-2016, anggota Bidang Kajian tahun 2016 serta aktif di Bina Rohani Islam Mahasiswa (Birohmah) sebagai anggota Kajian

Islam Ilmiah tahun 2016. Selain mengikuti organisasi, penulis juga pernah menjadi asisten Praktikum Kimia Dasar I tahun 2018 untuk mahasiswa kimia, asisten Praktikum Kimia Dasar II tahun 2018 untuk mahasiswa kimia, dan asisten Praktikum Kimia Fisik tahun 2018 untuk mahasiswa kimia.

MOTTO

Pelajarilah Adab Sebelum Mempelajari Suatu Ilmu
(Imam Malik)

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara
mu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa
derajat
(Q.S. Al-Mujadalah: 11)

Jika Kamu tidak sanggup menahan lelahnya Belajar, Maka
Kamu harus sanggup menahan perihnya Kebodohan
(Imam Syafi'i)

Al-Kitabul Hadii, As-Saifun Nashiir
(Mahasiswa Pecinta Islam)

Jihad Fii Sabilillah

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawab kepada :

*Kedua orang tuaku,
Bapak Hari Pramono Yugo dan Ibu Siti Hidayati
Yang telah memberikan kasih sayang, cinta, do'a, dukungan,
dan motivasinya.*

*Kakak-kakakku
Praty Milindasari dan Rangga Kristiansyah*

*Pembimbing Penelitianku,
Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak Ph.D.
Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.*

Orang terkasih, Sahabat, Kerabat, dan Teman

*Almamater Tercinta
Universitas Lampung*

SANWACANA

Segala Hormat, Puji dan Syukur kuucapkan kepada Allah SWT. Atas segala rahmat, karunia, nikmat, dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang berjudul :

**SINTESIS ZEOLIT-A BERBASIS SILIKA SEKAM PADI SEBAGAI
KATALIS UNTUK PENGOLAHAN CAMPURAN SEKAM PADI
BEBAS SILIKA DAN MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI
BAHAN BAKAR CAIR DENGAN METODE PIROLISIS**

Sholawat beriring salam kepada Nabi Muhammad SAW., keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya yang selalu taat mengikuti dan mengamalkan ajaran dan sunnahnya. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia FMIPA Unila. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan kedua kakak tercinta penulis yang selalu memberikan kasih sayang, semangat, dukungan, motivasi, dan doa untuk penulis.
2. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku pembimbing pertama penelitian atas segala bimbingan, semangat, bantuan, nasihat, saran, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Sc. selaku pembimbing kedua penelitian atas segala bimbingan, bantuan, nasihat, motivasi, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

4. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. selaku pembahas atas segala nasihat, kritik, dan saran 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 Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Segenap staff pengajar dan karyawan khususnya Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
8. *Partner* penelitian penulis: Ahmad Gilang Arinanda, Dira Avista, Ponco Prasetyo, dan Tiara May Rosita yang selalu membantu, menasehati, dan memberikan motivasi kepada penulis.
9. Rekan-rekan di Laboratorium Polimer, Kimia Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung: Mbak Agus, Mbak Gesa, Diska, Faulia, Putri, Daus, dan Nico atas semangat, saran, kritik, nasihat, dan bantuan yang diberikan. Terimakasih untuk kebersamaannya selama ini.
10. Keluarga Chem15try Unila yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terimakasih atas kebersamaan yang telah dilalui dalam kehidupan di kampus dari awal PROPTI sampai sekarang.
11. Keluarga Besar Pesantren Mahasiswa Al-Huda; Ustadz Iqbal, Ustadz Yudhi, Ustadz Waliyush, Ustadz Rahmad, Ustadz Ferry, Ustadz Ibnu, Ustadz Boim, Ustadz Fikri, Ustadz Septa, dan Pak Dal atas segala ilmu yang telah diberikan dan motivasi yang luar biasa untuk penulis.

12. Kaffah Generation; Mas Sirot, Mas Andri, Mas May, Mas Andi, Mas Amirul, Mas Wiko, Mas Riki, Irwan, dan Salim atas dukungan dan saran untuk penulis. Terimakasih atas kebersamaannya yang tidak terlupakan selama ini.
13. Alumni Pesantren Mahasiswa Al-Huda Angkatan II; Mas Agung, Mas Fajar, Rudi, Arif, dan Eko atas segala motivasi dan bantuannya kepada penulis.
14. Kakak dan adik tingkat penulis; kimia angkatan 2012, 2013, 2014, 2016, 2017, dan 2018 yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
15. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyusunan skripsi ini.

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

Bandar Lampung, Juni 2019

Penulis,

Rizki Gilang Gumelar

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian	6
C. Manfaat Penelitian	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Bahan Bakar Cair Berbasis Biomassa	8
B. Pirolisis	11
1. Pengertian Pirolisis	11
2. Prinsip Pirolisis	11
3. Jenis-Jenis Pirolisis	12
C. Zeolit.....	14
D. Zeolit-A.....	19
E. Minyak Kelapa Sawit	19
F. Sekam Padi	20
G. Silika Sekam Padi	22
H. Asap Cair	23
I. Karakterisasi Bahan Baku Sekam Padi Bebas Silika	25
1. <i>Differential Thermal Analysis/Thermogravimetric Analysis (DTA/TGA)</i>	25
J. Karakterisasi Zeolit.....	28
1. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	28
2. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	31
3. <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	33
4. <i>Fourier Transform InfraRed (FTIR)</i>	35
K. Analisis Bahan Bakar Cair.....	37
1. <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	37
2. Analisis Secara Fisik.....	38
a. Titik Nyala (<i>Flash Point</i>)	39
b. Densitas	39
c. Viskositas	39

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian	41
B. Alat dan Bahan	42
1. Alat-alat yang digunakan.....	42
2. Bahan-bahan yang digunakan.....	42
C. Prosedur Penelitian.....	42
1. Pembuatan Asap Cair	42
2. Preparasi Sekam Padi	43
3. Ekstraksi Silika dari Sekam Padi.....	43
4. Pembuatan Katalis Zeolit-A	44
5. Karakterisasi Zeolit-A	45
a. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	45
b. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	46
c. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	47
d. <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR).....	48
6. Preparasi Bahan Baku Sekam Padi Bebas Silika	48
7. Proses Pirolisis.....	48
8. Analisis Bahan Bakar Cair	49
a. <i>Gas Chromatography-Mass Spectroscopy</i> (GC-MS).....	49
b. Titik Nyala (<i>Flash Point</i>).....	51
c. Densitas.....	51
d. Viskositas.....	52

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengantar	54
B. Pembuatan Asap Cair	54
C. Preparasi Silika Sekam Padi.....	55
D. Ekstraksi Silika dari Sekam Padi	56
E. Pembuatan Zeolit.....	58
F. Karakterisasi Zeolit	60
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	60
2. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	72
3. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	75
4. <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR)	78
G. Preparasi Bahan Baku Sekam Padi Bebas Silika	81
H. Proses Pirolisis	81
I. Analisis Bahan Bakar Cair	85
J. Fraksinasi Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis	94
K. Analisis Fraksi Ringan dari Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis.....	94
L. Uji Kualitas Fraksi Ringan dari Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis	96

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan.....	98
B. Saran.....	99

DAFTAR PUSTAKA	100
----------------------	-----

LAMPIRAN.....	109
---------------	-----

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat fisik beberapa zeolit alam.....	17
2. Rumus oksida beberapa jenis zeolit sintetis.....	18
3. Kandungan silika dalam produk samping padi.....	20
4. Komposisi sekam padi beserta zat organiknya.....	21
5. Puncak 2 θ standar IZA Zeolit-A dengan Zeo-72.....	62
6. Kesesuaian puncak difraktogram Zeo-72 dengan difraktogram standar <i>Match</i>	63
7. Puncak 2 θ standar IZA zeolit-A dengan Zeo-96.....	65
8. Kesesuaian puncak difraktogram Zeo-96 dengan difraktogram standar <i>Match</i>	66
9. Puncak 2 θ standar IZA sodalit dengan Zeo-120.....	68
10. Kesesuaian puncak difraktogram Zeo-120 dengan difraktogram standar <i>Match</i>	69
11. Kesesuaian puncak difraktogram Zeo-72 dan Zeo-96 dengan difraktogram standar zeolit-A berdasarkan PCPDFWin 1997.....	71
12. Kesesuaian puncak difraktogram Zeo-120 dengan difraktogram standar sodalit berdasarkan PCPDFWin 1997.....	71
13. Distribusi partikel Zeo-72, Zeo-96, dan Zeo-120.....	77
14. Bilangan gelombang FTIR referensi, Zeo-96, dan Zeo-72.....	80
15. Komponen bahan bakar cair menggunakan katalis Zeo-72.....	86
16. Komponen bahan bakar cair menggunakan katalis Zeo-96.....	88

17. Komponen bahan bakar cair menggunakan katalis Zeo-120.....	91
18. Komponen penyusun bahan bakar cair menggunakan katalis Zeo-72, Zeo-96, dan Zeo-120	93
19. Komponen fraksi ringan dari bahan bakar cair menggunakan katalis Zeo-96	95
20. Hasil uji kualitas fraksi ringan dari bahan bakar cair hasil pirolisis	97
21. Standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis bensin 88	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Alur proses pirolisis (Haryono, 2016).....	12
2. Struktur tiga dimensi zeolit (Fatimah dan Karna, 2005).....	16
3. Struktur dasar zeolit	16
4. Tanaman kelapa sawit.....	20
5. Sekam padi.....	22
6. Asap cair	24
7. Skema alat DTA.....	26
8. Skema alat TGA.....	27
9. Alat <i>X-Ray Diffraction</i> (Beiser, 1997)	28
10. Skema difraktometer sinar-X serbuk (Bajili, 2014).....	29
11. Difraksi bidang kisi (Amilius <i>et al.</i> , 1999)	29
12. Skema alat SEM.....	32
13. Skema alat PSA (Lubis, 2012).....	34
14. Skema FTIR (Kroschwitz, 1990).....	35
15. Skema alat GC-MS (Simangunson, 2015).....	38
16. Asap cair tempurung kelapa.....	55
17. a.) Sekam padi bersih b.) Sekam padi setelah direndam HNO ₃	56
18. a.) Sol silika sekam padi b.) Residu sekam padi	57
19. a.) Gel silika b.) Gel silika bersih c.) Silika kering d.) Silika halus.....	58

20. a.) Larutan silika b.) Larutan aluminium foil.....	59
21. a.) Sampel sebelum digerus b.) Sampel setelah digerus	59
22. a.) Proses kalsinasi pada tanur b.) Sampel setelah dikalsinasi.....	60
23. Difraktogram Zeo-72	61
24. Difraktogram IZA zeolit-A	62
25. Difraktogram <i>Match</i> Zeo-72	63
26. Difraktogram Zeo-96	64
27. Difraktogram <i>Match</i> Zeo-96	65
28. Difraktogram Zeo-120	67
29. Difraktogram IZA sodalit	68
30. Difraktogram <i>Match</i> Zeo-120	69
31. a.) Difraktogram PCPDF zeolit-A b.) Difraktogram PCPDF sodalit	70
32. Mikrograf a.) Zeo-72 b.) Zeo-96 c.) Zeo-120.....	73
33. Hasil pengukuran PSA Zeo-72	75
34. Hasil pengukuran PSA Zeo-96	76
35. Hasil pengukuran PSA Zeo-120	76
36. Spektrum FTIR Zeo-96 dan Zeo-120.....	79
37. a.) Sekam padi bebas silika kasar b.) Sekam padi bebas silika halus	81
38. Grafik DTA/TGA sekam padi bebas silika.....	82
39. a.) Reaktor pirolisis b.) Proses pirolisis c.) Uji pembakaran gas d.) Produk cair pirolisis e.) Produk padat pirolisis	84
40. a.) Proses pemisahan hasil pirolisis b.) Fasa air dan fasa minyak hasil pirolisis.....	85
41. Kromatogram bahan bakar cair menggunakan katalis Zeo-72	85
42. Komponen penyusun bahan bakar cair menggunakan katalis Zeo-72.....	87

43. Kromatogram bahan bakar cair menggunakan katalis Zeo-96	88
44. Komponen penyusun bahan bakar cair menggunakan katalis Zeo-96.....	90
45. Kromatogram bahan bakar cair menggunakan katalis Zeo-120	90
46. Komponen penyusun bahan bakar cair menggunakan katalis Zeo-120.....	92
47. a.) Perangkat fraksinasi b.) <i>Bio Crude Oil</i> dan fraksi ringan.....	94
48. Kromatogram fraksi ringan dari bahan bakar cair menggunakan katalis Zeo-96.....	95
49. Mikrograf Zeo-72 a.) Perbesaran 5.000x b.) Perbesaran 15.000x c.) Perbesaran 25.000x d.) Perbesaran 30.000x e.) Perbesaran 40.000x	116
50. Mikrograf Zeo-96 a.) Perbesaran 5.000x b.) Perbesaran 10.000x c.) Perbesaran 20.000x d.) Perbesaran 35.000x	117
51. Mikrograf Zeo-120 a.) Perbesaran 5.000x b.) Perbesaran 10.000x c.) Perbesaran 20.000x d.) Perbesaran 35.000x	117
52. Spektrum MS Benzena	118
53. Spektrum MS 1-Heksena	118
54. Spektrum MS Sikoheksana	118

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bahan bakar cair merupakan suatu jenis bahan bakar yang didapat dari produksi bahan dasar berupa material organik atau biomassa (Babu and Chaurasia, 2004) yang saat ini paling banyak digunakan untuk berbagai keperluan, terutama bahan bakar yang mengandung hidrokarbon. Bahan bakar cair menjadi kebutuhan mendasar bagi manusia dalam menunjang kegiatan pada sektor industri, pertanian, dan rumah tangga. Sebagian besar bahan bakar yang digunakan sampai saat ini merupakan jenis bahan bakar fosil yang dihasilkan dari minyak bumi, yang masih sangat diandalkan dalam pemenuhan konsumsi minyak dunia (Vicente *et al.*, 2007).

Menurut Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi, konsumsi bahan bakar di Indonesia pada tahun 2016 mencapai 48,6 juta liter. Sedangkan pada tahun berikutnya yaitu tahun 2017 mengalami peningkatan sebesar 55,4 juta liter bahan bakar yang dikonsumsi di Indonesia (Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi, 2018). Namun, dengan peningkatan jumlah konsumsi yang berlebihan menyebabkan menipisnya cadangan minyak bumi, seiring dengan bertambahnya populasi penduduk di dunia, hal inilah yang menimbulkan kekhawatiran akan terjadinya krisis bahan bakar. Masalah lain yang akan dihadapi terkait dengan peningkatan konsumsi bahan bakar adalah pemanasan

global serta emisi gas CO₂ dari hasil pembakaran yang berdampak langsung pada polusi udara di bumi. Untuk mengatasi masalah tersebut, perlu dilakukan pengembangan suatu bahan bakar alternatif dan ramah lingkungan yang dapat diperbarui lebih lanjut, salah satunya bahan bakar cair yang dihasilkan dari bahan organik atau biomassa melalui proses pirolisis (perengkahan) (Ridhuan dan Joko, 2016).

Pirolisis atau perengkahan merupakan suatu metode yang saat ini masih terus dikembangkan untuk menghasilkan suatu bahan bakar cair berbasis biomassa. Pirolisis pada dasarnya adalah proses penguraian (*dekomposisi*) tanpa menggunakan oksigen atau oksigen yang terbatas dengan hasil berupa gas, cair, dan padatan melalui pemanasan atau suhu yang tinggi (Babu and Chaurasia 2004). Produk utama yang dihasilkan dari proses pirolisis ini adalah bahan bakar cair yang umumnya masih mengandung padatan berupa residu karbon, serta gas yang biasanya terdiri dari CO₂, CO, dan gas-gas lain yang mudah terbakar seperti CH₄, H₂, dan hidrokarbon tingkat rendah (Heyerdahl and Geoffrey, 2006). Bahan bakar cair yang mengandung berbagai macam hidrokarbon, dapat diolah lebih lanjut menjadi biogasolin (*bio-fuel*) dengan melakukan fraksinasi pada bahan bakar cair tersebut. Biogasolin merupakan jenis gasolin yang terbuat dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui, tersusun atas hidrokarbon rantai lurus mulai dari C₅ sampai dengan C₁₁ (Prihandana dkk., 2007).

Metode pirolisis merupakan langkah yang paling tepat untuk membuat bahan bakar cair, karena metode ini memiliki kelebihan yaitu dapat diterapkan untuk

sembarang berbagai bahan dasar berbasis biomassa seperti minyak biji jarak (Satria, 2017), *Crude Palm Oil* (CPO) parit (Ahmadhani, 2018), bagas tebu, minyak biji karet (Anita, 2018), limbah kantong plastik (Nasrun dkk., 2015), kulit durian (Ridhuan dan Joko, 2016), potongan kayu, tandan kosong sawit, serbuk kayu, sabut kelapa, cangkang kelapa (Cahyono, 2013), sekam padi (Simanjuntak *et al.*, 2012), minyak kelapa (Pandiangan dan Damayanti, 2017) dan minyak kelapa sawit (Anshari dkk, 2012). Pirolisis dirasa saat ini menjadi langkah yang paling tepat karena metode ini relatif sederhana, membutuhkan waktu lebih cepat dari metode lainnya dalam memproduksi bahan bakar cair (Wijayanti dan Mega, 2012), mudah dalam pengoperasian, serta secara teknik maupun ekonomi sangat layak untuk dikembangkan (Wijayanti dkk., 2013).

Salah satu bahan dasar biomassa yang masih dikembangkan dalam proses pirolisis pembuatan bahan bakar cair saat ini adalah sekam padi. Sekam padi merupakan residu pertanian yang dihasilkan dari proses penggilingan padi yang sudah dipanen yang belum terolah secara maksimal (Kalaphathy *et al.*, 2000) dengan jumlah yang melimpah di berbagai daerah di Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi padi di Indonesia pada tahun 2018 sebesar 56,54 juta ton gabah kering giling (GKG) dengan luas lahan sebesar 10,90 juta ha (Badan Pusat Statistik, 2018). Sekam padi memiliki potensi yang sangat besar dengan kandungan silika (SiO_2) yang dimilikinya berkisar 87-97%, sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pengganti sumber silika lain yang lebih mahal dan sekaligus mampu

meningkatkan kualitas dan nilai ekonomis sekam padi. Selain komponen utama silika, dalam sekam juga terdapat komponen lain seperti CaO, MgO, Al₂O₃, dan NaO (Hamdan *et al.*, 1997) sehingga dari komposisi kimia tersebut dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber bahan baku untuk material berbasis silika.

Selain sekam padi, minyak kelapa sawit juga menjadi bahan baku dalam proses pirolisis untuk pembuatan bahan bakar cair yang saat ini banyak digunakan (Anshari dan Damayanti., 2012). Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas hasil perkebunan yang melimpah, mengingat luasnya area perkebunan kelapa sawit diberbagai daerah di Indonesia. Menurut BPS, pada tahun 2016 produksi kelapa sawit sebesar 31,49 juta ton, sedangkan pada tahun berikutnya yaitu tahun 2017 mengalami kenaikan sebesar 34,47 juta ton dengan luas total area perkebunan 12,30 juta ha (Badan Pusat Statistik, 2017). Namun, dibalik produksinya yang meningkat setiap tahun, tidak seluruhnya terserap oleh industri pangan. Sehingga, minyak kelapa sawit berpeluang untuk dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi dalam pembuatan bahan bakar cair (Antono, 2018), biodiesel (Aristiani, 2016), dan bioetanol (Visiamah, 2016).

Dalam proses pirolisis, selain bahan baku diperlukan juga zeolit sintetik sebagai katalis untuk memaksimalkan produksi bahan bakar cair. Zeolit sintetik yang digunakan pada penelitian ini adalah zeolit-A. Zeolit-A merupakan zeolit dengan kandungan silika rendah memiliki perbandingan Si/Al yaitu 1:1 sehingga dapat dikatakan ekonomis karena bahan yang

digunakan tersedia di alam. Zeolit-A memiliki kemurnian kristal produk yang tinggi dan keseragaman ukuran partikel (homogen) (Nyankson *et al.*, 2018) serta mempunyai sifat fisis yang jauh lebih baik dari zeolit lainnya. Sebagai katalis, zeolit-A mampu mempengaruhi laju reaksi dalam proses pirolisis tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi karena mampu menaikkan perbedaan lintasan molekular dari reaksi yang terjadi. Zeolit-A memiliki ukuran pori yang kecil yaitu sebesar 5\AA , bersifat *shape selective* yang akan memuat molekul-molekul kecil dan mencegah molekul besar masuk.

Dalam sintesis zeolit-A dilakukan dengan bahan-bahan yang mengandung silika dan alumina. Sumber silika yang digunakan pada sintesis zeolit-A ini berasal dari sekam padi. Keunggulan dari silika sekam padi ini yaitu kemudahannya untuk dapat diekstrak dengan sederhana yaitu ekstraksi alkalis serta biaya relatif murah (Daifullah *et al.*, 2003). Dengan menggunakan metode ekstraksi dapat dihasilkan silika yang bersifat sol-gel, berbentuk amorf, dan porous dengan tingkat kemurnian silika yang terkandung tinggi yaitu sekitar 95% (Sembiring dan Pulung, 2007). Sedangkan sebagai sumber alumina digunakan aluminium foil. Aluminium foil merupakan bahan yang sangat berpotensi sebagai sumber alumina dalam sintesis zeolit-A. Hal ini dikarenakan kandungan utama dari aluminium foil adalah aluminium (Herlina, 2017) dengan kadar yang dikandungnya sebesar 99-99,5% (Oster, 2015).

Pada penelitian ini, dilakukan penggunaan sekam padi sebagai sumber silika dan aluminium foil sebagai sumber alumina untuk mensintesis zeolit-A. Zeolit-A yang terbentuk digunakan sebagai katalis pada proses pirolisis sekam padi bebas silika merupakan residu pada saat ekstraksi alkalis, dicampur dengan minyak kelapa sawit untuk produksi bahan bakar cair dan diuji fisik sebagai acuan kelayakan dari bahan bakar cair yang dihasilkan tersebut.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mensintesis zeolit-A dengan menggunakan bahan baku silika dari sekam padi dan aluminium foil.
2. Mengkarakterisasi zeolit hasil sintesis dengan XRD, SEM, PSA, dan FTIR untuk mengetahui keterkaitan karakteristik dan unjuk kerja sebagai katalis pada proses pirolisis.
3. Menguji aktivitas zeolit dengan uji katalitik pada proses pirolisis dengan bahan baku sekam padi bebas silika dan campuran minyak kelapa sawit sehingga didapat hasil yang baik.
4. Menganalisis bahan bakar cair yang dihasilkan dengan GC-MS dan uji fisik untuk mengetahui kelayakannya sebagai bahan bakar serta menghasilkan bahan bakar cair dengan kualitas terbaik.

C. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut :

1. Mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dengan menggunakan bahan bakar cair hasil pirolisis biomassa.
2. Meningkatkan nilai ekonomis dari sekam padi .
3. Memberikan informasi tambahan tentang katalis zeolit-A yang disintesis dengan silika sekam padi dan aluminium foil.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Bahan Bakar Cair Berbasis Biomassa

Biomassa merupakan campuran senyawa organik yang kompleks, terdiri dari karbohidrat, protein, lemak, dan beberapa senyawa mineral lain yang jumlahnya minim seperti sodium, fosfor, kalsium, dan besi. Komponen yang paling utama dalam biomassa adalah karbohidrat sekitar 75%, serta lignin sekitar 25%, namun dalam beberapa materi yang lain komposisinya berbeda. Penggunaan biomassa salah satunya pada bahan bakar cair terbarukan yang mulai dikenal saat ini (Hartanto, 2012).

Bahan bakar cair adalah istilah yang umum untuk jenis bahan bakar berwujud cair. Bahan bakar cair terbarukan ini merupakan bahan bakar cair non-fosil yang dihasilkan dari beragam bahan baku terbarukan, terutama biomassa dengan proses biologis, kimia, dan termokimia. Biomassa diperoleh dari bahan-bahan organik yang berumur relatif muda dan berasal dari tumbuhan atau hewan. Bahan bakar cair terbarukan yang sudah dikenal saat ini dan terus dikembangkan adalah bioetanol hasil dari fermentasi (Hutama dkk., 2011), biodiesel hasil dari transesterifikasi (Pandiangan *et al.*, 2017) dan bahan bakar cair hasil pirolisis biomassa. Namun, sampai saat ini bahan bakar cair yang sudah berkembang hingga skala industri adalah bioetanol dan biodiesel. Bioetanol merupakan bahan bakar cair untuk kendaraan atau

otomotif, sedangkan biodiesel adalah bahan bakar cair untuk kendaraan diesel (Hutama dkk., 2011).

Bioetanol dihasilkan dari suatu gula reduksi dengan menggunakan proses fermentasi. Akan tetapi, pemakaian dari gula reduksi ini justru menimbulkan masalah karena gula reduksi merupakan bahan pangan utama di Indonesia. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan sebuah pengembangan dengan memanfaatkan bahan baku yang mengandung karbohidrat yang berukuran lebih besar, misalnya selulosa (Samsuri dkk., 2007), hemiselulosa (Rengel, 2007), dan pati dari beberapa tanaman (Arnata dan Anggraeni, 2013 ; Visiamah, 2016) seperti ubi kayu dan Jagung. Berkaitan dengan bahan baku tersebut, harus dipertimbangkan penggunaannya karena selain digunakan untuk pembuatan bioetanol, bahan baku tersebut juga digunakan untuk bahan pangan dan bahan baku industri lain, sehingga tidak mungkin digunakan sepenuhnya untuk industri bioetanol. Secara prinsip masalah dengan bahan baku dapat diatasi, akan tetapi dalam praktiknya sendiri masih terdapat beberapa kendala dalam produksi bioetanol.

Seperti halnya dengan bioetanol, biodiesel yang dapat dihasilkan dari suatu minyak nabati juga tidak terbebas dari masalah. Produksi biodiesel ini juga terkendala pada bahan baku yang sama-sama digunakan untuk bahan pangan, seperti minyak kelapa (Meliyana, 2015; Padil dan Amir, 2010) dan minyak kelapa sawit (Anshary dan Damayanti, 2012; Aristiani, 2016; Prastyo dkk., 2011). Namun, pemanfaatan minyak nabati non-pangan terus diteliti dan dikembangkan secara intensif seperti minyak jarak (Susanti, 2015), minyak

biji karet (Fadilah, 2015), dan minyak ketapang (Pratiwi, 2015), akan tetapi penggunaan minyak nabati non-pangan masih belum maksimal sehingga minyak nabati pangan tetap banyak digunakan menjadi bahan baku utama di dunia industri. Selain ditinjau dari segi bahan baku, biodiesel juga memerlukan waktu yang cukup lama untuk memproduksinya. Pada proses pembuatan biodiesel membutuhkan suatu reaktan yang mengandung senyawa alkohol terutama metanol atau etanol, dan terbentuknya produk samping berupa sabun, serta pemisahan produk utama biodiesel yang dihasilkan membutuhkan katalis (Putri dkk., 2012).

Permasalahan yang terjadi dengan dua jenis bahan bakar alternatif tersebut mendorong para ahli untuk mengembangkan lebih lanjut bahan bakar cair hasil dari pirolisis yang pada prinsip pembuatannya tidak terkendala oleh bahan baku, karena dapat dihasilkan dari semua bahan organik berukuran besar atau biomassa, baik produk tanaman, sisa tanaman, residu dari agroindustri, hingga limbah organik seperti limbah rumah tangga maupun limbah pasar. Pada pembuatannya tidak memerlukan bahan baku tambahan kecuali katalis dan prosesnya berlangsung sangat cepat serta perangkat yang digunakan sederhana. Sehingga bahan bakar cair hasil pirolisis sangat menguntungkan dan berpotensi untuk dikembangkan.

B. Pirolisis

1. Pengertian Pirolisis

Secara ilmiah, pirolisis adalah proses dekomposisi termal bahan-bahan organik yang mengurai suatu senyawa organik dari suatu bahan menjadi produk cair, padat, dan gas dengan melepaskan ikatan bahan-bahan anorganik yang terikat pada temperatur sekitar 350-550 °C tanpa adanya oksigen (Jawad, 2010) atau oksigen terbatas dalam waktu 4-7 jam (Ridhuan dan Joko, 2016). Namun keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya (Demirbas, 2004). Proses ini melepas tiga jenis produk, yaitu cair (*Bio-oil*), padat (arang), dan gas (CO, CO₂, H₂, H₂O, dan CH₄) (Heyerdahl and Geoffrey, 2006).

2. Prinsip Pirolisis

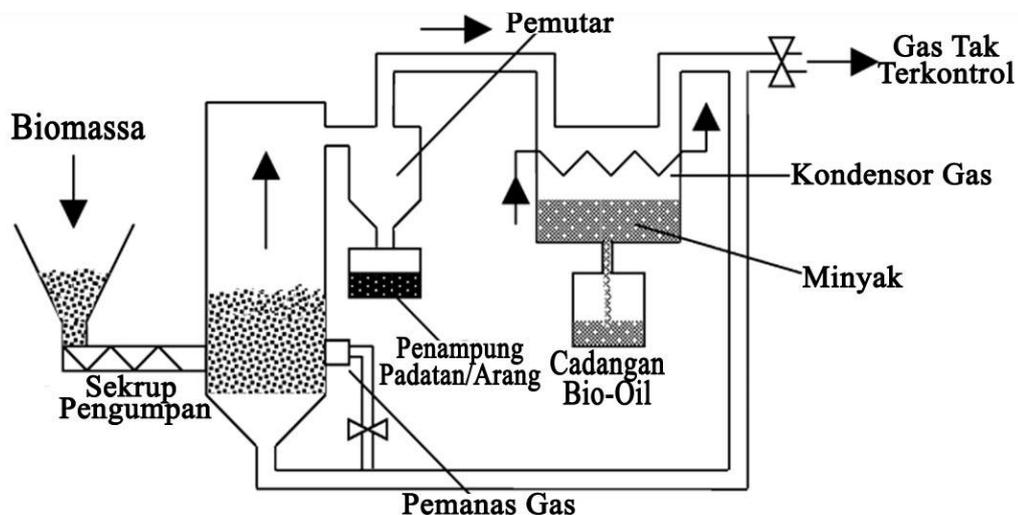
Secara prinsip, proses pirolisis terhadap bahan-bahan berbasis biomassa dimaksudkan untuk mendegradasi rantai hidrokarbon yang panjang yang ada di dalam material menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek dan kecil, yaitu rantai polimer dihancurkan menjadi monomer-monomer (Aguado, 2007) dalam bentuk gas, uap yang terkondensasi (tar dan minyak) dan residu pada berada di bagian bawah pirolisis. Laju dari komponen-komponen ini bergantung pada temperatur dari reaktor pada pirolisis, laju pemanasan biomassa, pengaturan reaktor, dan bahan baku yang digunakan. Selama proses pirolisis berlangsung, produk awal yang dihasilkan adalah berupa gas

yang dapat dan tidak dapat terkondensasi serta *char* padat (Basu, 2010).

Reaksi kimia pirolisis secara umum yang terjadi adalah sebagai berikut :



Pada perkembangan awal, metode pirolisis memiliki kelemahan yaitu produksi yang lambat, menghasilkan energi yang rendah, dan polusi udara yang berlebihan. Oleh karena itu, dikembangkan teknologi untuk mencapai hasil pirolisis yang maksimal. Pada alur terjadinya proses pirolisis, bahan baku biomassa pertama kali dimasukkan kedalam reaktor, kemudian terjadi pemanasan sampai menghasilkan produk pirolisis berupa gas, *bio-oil*, dan arang. *Bio-oil* diperoleh dari proses kondensasi, sedangkan gas dan arang akan terpisah dengan sendirinya.



Gambar 1. Alur Proses Pirolisis (Haryono, 2016)

3. Jenis-Jenis Pirolisis

Dalam praktiknya, proses pemanasan pada pirolisis dikategorikan menjadi tiga cara yaitu *slow pyrolysis*, *fast pyrolysis*, dan *flash pyrolysis*.

a.) *Slow Pyrolysis*

Karbonisasi adalah tujuan utama dari proses pirolisis ini, dimana produksi arang adalah tujuannya. Selain itu, pada proses ini juga memungkinkan waktu yang cukup untuk proses pengkondensasian gas menjadi *bio-oil* dan menghasilkan gas yang tidak dapat dikondensasi. Pada saat pirolisis lambat berlangsung, biomassa dipanaskan perlahan dengan tidak adanya oksigen ke suhu yang relatif rendah sekitar kurang dari 400 °C dengan periode waktu yang lama. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *slow pyrolysis* kurang efisien dalam menghasilkan bahan bakar cair.

b.) *Fast Pyrolysis*

Tujuan utama proses ini adalah memaksimalkan produk cair atau *bio-oil*. Biomassa dipanaskan dengan waktu yang cepat sehingga mencapai suhu puncak (pirolisis) sebelum bahan baku terurai. Tingkat pemanasan bisa mencapai 1000 °C dengan laju pemanasan sebesar 10 °C/detik dengan ketentuan bila produk utamanya adalah *bio-oil* maka suhu puncaknya harus dibawah 650 °C. Namun, jika produk berupa gas diinginkan maka suhu puncaknya harus 1000 °C. Karakteristik utama dari *fast pyrolysis* adalah transfer panas dan laju pemanasan yang tinggi, uap waktu tinggal singkat, pendinginan uap, dan aerosol yang cepat untuk menghasilkan bahan bakar cair dalam jumlah besar, yang dapat dicapai dengan mengatur suhu reaksi dengan tepat dan presisi dari suhu reaksi (Chiaramonti *et al.*, 2003; Demirbas, 2002; Venderbosch and Prins, 2010). Sehingga *fast pyrolysis* sangat tepat digunakan untuk memproduksi bahan bakar cair.

c.) *Flash Pyrolysis*

Flash pyrolysis merupakan proses pirolisis yang berlangsung sangat cepat dengan temperatur yang sangat tinggi melebihi temperatur pada *fast pyrolysis* (Chhiti and Kemiha, 2013). *Flash Pyrolysis* menghasilkan proses dengan produksi berupa bahan bakar padat, cair, dan gas mencapai 75% (Demirbas, 2000). Proses pirolisis ini diawali dengan volatilisasi yang cepat dalam suasana inert, dengan laju pemanasan dan suhu reaksi yang tinggi antara 450-1000 °C dan waktu tinggal gas yang sangat singkat yaitu kurang dari 1 detik (Aguado, 2007). Akan tetapi, proses ini memiliki beberapa kekurangan, seperti stabilitas termal yang rendah, padatan tersuspensi dalam zat cair, sifat korosif dari produk cair, peningkatan viskositas akibat pembentukan *char*, pemekatan alkali dalam *char* yang terlarut dalam produk cair, serta produksi air secara pirolitik (Cornelissen *et al.*, 2008). Selain itu, *flash pyrolysis* memerlukan perangkat yang lebih mahal dibandingkan dengan *slow pyrolysis* dan *fast pyrolysis*. Sehingga menimbulkan produksi bahan bakar cair yang terbatas karena *flash pyrolysis* kurang ekonomis.

C. Zeolit

Zeolit merupakan mineral aluminosilikat mikroporous dengan rasio Si/Al sebesar 1-2 yang umum digunakan sebagai adsorben untuk pemurnian air dan limbah, namun dalam perkembangannya pada akhir-akhir ini dikembangkan sebagai katalis heterogen untuk pembuatan biodiesel. Zeolit bervariasi pada struktur permukaan pori dan medan listriknya, hal tersebut yang

menyebabkan zeolit memiliki perbedaan sifat katalisnya (Yizhou *et al.*, 2004). Zeolit telah dilakukan uji coba sebagai katalis untuk konversi minyak kaya akan *Free Fatty Acid* (FFA) untuk dikonversi menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME).

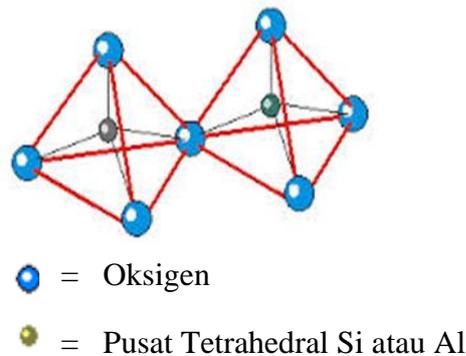
Zeolit umumnya mengandung silika, aluminium, dan oksigen dalam kerangka serta kation-kation, air, dan molekul lainnya yang terdapat dalam pori zeolit. Atom aluminium memiliki elektron yang lebih sedikit daripada silika yang menyebabkan ketidakseimbangan elektron dalam zeolit sehingga membutuhkan kation seperti ion alkali dan alkali tanah untuk menyeimbangkan muatan dalam zeolit (Kamarudin *et al.*, 2003). Kation-kation tersebut seperti kalsium, magnesium, potassium, dan sodium umumnya dapat dipertukarkan dengan kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara *reversible*. Air yang terkandung dalam pori dapat dilepas dengan pemanasan pada temperatur 300 °C sampai dengan 400 °C. Dengan pemanasan pada temperatur tersebut air dapat keluar, sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan (Handoko, 2002).

Untuk menggambarkan hubungan antara komposisi dan struktur zeolit, Handoko (2002) menuliskan rumus umumnya sebagai berikut:

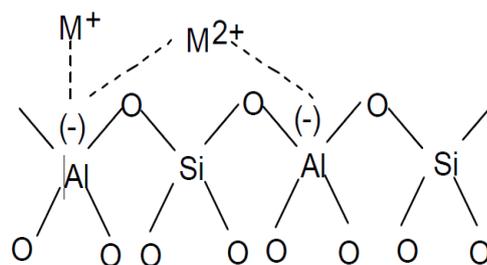


Dimana “M” adalah kation bermuatan positif n yang dapat dipertukarkan. “X” merupakan jumlah Al, “y” adalah jumlah Si, “p” adalah jumlah air kristal, “y/x” = 1-6, “p/x” = 1-4, “{ }” merupakan bentuk kerangka dasar

struktur alumina-silikat. Zeolit memiliki struktur 3 dimensi polihedral yang terbentuk dari jaringan dan terhubung pada satu sudut oleh atom oksigen, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Struktur tiga dimensi zeolit (Fatimah dan Karna, 2005)



Gambar 3. Struktur dasar zeolit

Zeolit dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok besar yaitu zeolit alam dan zeolit sintetik.

a.) Zeolit Alam

Zeolit alam yaitu zeolit yang diperoleh dari endapan di alam dengan komposisi yang berbeda, terutama dalam nisbah Si/Al dan jenis logam yang menjadi komponen minor. Zeolit alam biasanya masih tercampur dengan mineral lainnya seperti kalsit, gipsum, feldspar, dan kuarsa yang ditemukan di daerah sekitar gunung berapi atau mengendap pada daerah sumber air panas (*hot spring*). Komposisi kimia zeolit alam tergantung pada kondisi

hidrotermal lingkungan lokal, seperti suhu, tekanan uap air setempat, dan komposisi air tanah lokasi kejadiannya. Hal itu menjadikan zeolit dengan warna dan tekstur yang sama mungkin berbeda komposisi kimianya apabila diambil dari lokasi yang berbeda, disebabkan karena kombinasi mineral yang berupa partikel halus dengan kotoran lainnya.

Tabel 1. Sifat fisik beberapa zeolit alam

Zeolit	Kation Dominan	Stabilitas Panas	Kapasitas Tukar Ion (meq/g)	Spesific Gravity (g/cm³)	Porositas (%)
Analsim	Na	Tinggi	4,54	2,24-2,29	18
Kabasit	Na, K, Ca	Tinggi	3,84	2,05-2,10	47
Klinoptilot	K, Na, Ca	Tinggi	2,16	2,15-2,25	34
Erionit	Na, K, Ca	Tinggi	3,12	2,02-2,08	35
Heulandit	-	Rendah	2,91	2,18-2,20	39
Mordenit	Na, Ca	Tinggi	4,29	2,12-2,15	28

Sumber: Idris, 2006.

b.) Zeolit Sintetik

Zeolit sintetik merupakan zeolit yang direkayasa dari bahan berkemurnian tinggi, mempunyai jenis kation tunggal, mempunyai ukuran pori, saluran, dan rongga tertentu sehingga didapatkan karakter yang lebih baik dari zeolit alam. Prinsip dasar produksi zeolit sintesis adalah komponennya yang terdiri dari silika dan alumina, sehingga zeolit sintesis memiliki komposisi yang tetap dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Sifat zeolit sintetik sangat bergantung dari jumlah komponen Si dan Al. Oleh sebab itu, zeolit sintetik dikelompokkan menjadi tiga jenis berdasarkan nisbah Si/Al, yaitu:

1.) Zeolit sintetik dengan kadar Si rendah

Zeolit ini banyak mengandung Al, berpori, dan mempunyai nilai ekonomi yang tinggi karena efektif untuk pemisahan atau pemurnian dengan kapasitas besar, contohnya adalah zeolit A dan X.

2.) Zeolit sintetik dengan kadar Si sedang

Zeolit ini mempunyai perbandingan Si/Al yaitu 1-3. Kerangka tetrahedral dari zeolit jenis ini tidak begitu stabil terhadap asam dan panas. Contoh dari zeolit ini adalah zeolit omega (Ω), zeolit Y, dan zeolit L.

3.) Zeolit sintetik dengan kadar Si tinggi

Zeolit ini sangat higroskopis dan mudah menyerap molekul non polar sehingga baik digunakan sebagai katalisator untuk hidrokarbon, contoh dari zeolit ini adalah ZSM-5. Dalam perkembangannya, saat ini telah dikenal berbagai macam zeolit sintetis yang sudah diproduksi, diantaranya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rumus oksida beberapa jenis zeolit sintesis

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 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 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 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 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 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 ZK-4	$0,84\text{Na}_2\text{O} \cdot 0,15(\text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3,3\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Zeolit ZK-5	$(\text{R}, \text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,6\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
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- $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$

Sumber: Georgiev *et al.*, 2009.

D. Zeolit-A

Zeolit sintetis dikembangkan karena untuk mengatasi kekurangan daripada zeolit alam seperti komposisi mineral pada zeolit alam yang bervariasi dan ukuran pori-pori yang tidak seragam. Dalam pengembangan zeolit sintetis ini dapat dilakukan dengan mengatur pori-porinya sehingga lebih spesifik pemanfaatannya. Secara struktural zeolit-A terbentuk dari kerangka aluminosilikat yang memiliki struktur tiga dimensi tanpa batas pada jaringan $AlO_4^- SiO_2$ tetrahedral yang terhubung satu sama lain dengan membagikan semua oksigen. Salah satu tipe zeolit sintetis adalah zeolit A yang memiliki komposisi mineral $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4,5H_2O$ (Weitkamp and Puppe, 2013).

Zeolit A merupakan tipe dari zeolit sintetis dengan nilai nisbah Si/Al yang rendah yaitu 1 atau mendekati 1. Sifat ini membuat zeolit dengan rasio Si/Al rendah sering digunakan dalam pengolahan limbah cair, peningkatan kualitas air dengan pengurangan kesadahan, sebagai penukar ion, dan katalis (Austin and Jasfi, 1996). Reaktan utama dalam sintesis zeolit A adalah senyawa silika dan alumina.

E. Minyak Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi hasil pertanian yang diperdagangkan, baik untuk industri dalam negeri maupun ekspor. Indonesia merupakan negara produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) merupakan tanaman yang hidup di daerah

tropis maupun subtropis, dan dapat tumbuh pada ketinggian 1–500 meter di atas permukaan laut dengan suhu udara sekitar 24–28 °C dan tingkat kelembapan yang tinggi mencapai 80–90%. Tanaman kelapa sawit mengandung 50% minyak (Sa'diah, 2009).



Gambar 4. Tanaman kelapa sawit

F. Sekam Padi

Sekam padi (*rice husk/rice hull*) atau kulit gabah merupakan bagian terluar dari bulir padi dan memiliki kandungan silika terbanyak dibandingkan dengan hasil samping pengolahan padi lainnya, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan silika dalam produk samping padi

Komponen	Silika
Sekam	18,0-22,3%
Dedak	0,2-0,3%
Bekatul	0,6-1,1%
Jerami	4,0-7,0%

Sumber: Luh, 1991.

Secara umum penggunaan sekam di Indonesia masih terbatas yaitu sebagai media tanaman hias, pembakaran bata merah, alas ternak untuk unggas, kuda,

sapi, kambing, dan kerbau. Di Indonesia dan Filipina, sekam padi juga dipakai dalam penetasan telur itik. Sekam padi juga digunakan untuk pupuk, karena mempunyai nilai NPK-nya yang rendah. Akan tetapi, penambahan abu sekam kedalam lahan memberikan pengaruh positif, terutama dalam penyerapan silika. Sekam padi memiliki komposisi sebagai berikut:

Tabel 4. Komposisi sekam padi beserta zat organiknya

Komponen	Kandungan (%)
Air	9,02
Serat Kasar	35,68
Abu	17,71
Karbohidrat Kasar	33,71
Karbon (Arang)	1,33
Hidrogen	1,54
Oksigen	33,64
Silika	16,98

Sumber: Ristianingsih dkk., 2014.

Sekam padi sulit untuk dinyalakan dan tidak mudah terbakar dengan api di ruang terbuka kecuali udara ditiupkan kedalamnya. Sekam padi sangat tahan terhadap kelembapan dan dekomposisi jamur yang menyebabkan sekam padi sulit untuk terurai secara alami. Sekam padi memiliki massa jenis yang rendah yaitu $70\text{-}110\text{ kg/m}^3$, 145 kg/m^3 ketika bergetar atau 180 kg/m^3 dalam bentuk briket atau pellet. Sekam padi memiliki nilai kalor tinggi rata-rata dari 3410 kkal/kg dan dapat digunakan sebagai salah satu sumber energi terbarukan (Yusmaniar, 2007).



Gambar 5. Sekam padi

G. Silika Sekam Padi

Silika merupakan unsur kedua terbesar di kerak bumi setelah oksigen dan sebagian besar Si terdapat di dalam tanah. Dengan demikian, semua jaringan perakaran tanaman dalam tanah mengandung Si (Husnain, 2010). Silika merupakan material yang tersedia di alam dan secara kuantitatif memiliki jumlah yang melimpah. Silika berada didalam tanah berbentuk silika larut air (H_4SiO_4). Tanaman menyerap silika, dipolimerisasi dan dipresipitasi menjadi bentuk silika amorf. Beberapa karbohidrat dan protein tanaman diketahui memiliki peran dalam polimerisasi biosilika menjadi bentuk silika amorf.

Silika gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat (NaSiO_2). Sol mirip agar-agar ini dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kaca yang bersifat tidak elastis. Sifat ini menjadikan silika gel dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering, dan penopang katalis (Handayani dkk., 2014). Silika gel adalah silika amorf yang terdiri atas globula-globula SiO_4 tetrahedral yang

tersusun secara teratur dan beragregasi membentuk kerangka tiga dimensi yang lebih besar (1-24 μm). Rumus kimia silika gel secara umum adalah $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Struktur satuan mineral silika pada dasarnya mengandung kation Si^{4+} yang terkoordinasi secara tetrahedral dengan anion O^{2-} . Akan tetapi, susunan SiO_4 pada silika gel tidak beraturan. Susunan ini terbentuk karena kondensasi asam ortosilikat atau asam monosilikat. Silika larut dan pada umumnya ditulis sebagai H_4SiO_4 , $\text{Si}(\text{OH})_4$, atau $\text{SiO}_2 \cdot (\text{OH})_2$ (Nuryono dkk., 2004).

H. Asap Cair

Asap cair merupakan suatu hasil destilasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran tidak langsung maupun langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung karbon serta senyawa-senyawa lain, bahan baku yang banyak digunakan seperti kayu, bongkol kelapa sawit, ampas hasil penggergajian kayu, dan sebagainya. Hasil dari pirolisis senyawa-senyawa tersebut akan menghasilkan asam organik, fenol, karbonil yang merupakan senyawa yang berperan dalam pengawetan bahan makanan. Senyawa-senyawa tersebut berbeda proporsinya diantaranya tergantung pada jenis, kadar air kayu, dan suhu pirolisis yang digunakan.

Asap cair yang diperoleh dari pirolisis adalah asap cair *grade 3*. Warna yang terbentuk coklat pekat, kandungan tar (51,82%) masih tinggi. Asap cair *grade 3* ini sangat cocok untuk penggumpalan karet, pengawetan kayu, dan sebagainya. Asap cair hasil pirolisis ini tergantung pada bahan dasar dan

suhu pirolisis. Pada asap cair *grade 3*, apabila didestilasi akan menghasilkan asap cair *grade 2*. Asap cair *grade 2* memiliki warna yang lebih coklat bening, kandungan tar 16,6% jauh lebih rendah dibanding *grade 3*, kandungan fenol 9,55%, karbonil 1,67%, dan aroma asapnya sudah berkurang. Selanjutnya apabila asap cair *grade 2* didestilasi kembali maka akan menghasilkan asap cair *grade 1* yang memiliki warna lebih bening dibanding *grade 2*. Asap cair *grade 1* merupakan asap cair yang paling bagus kualitasnya dan tidak mengandung senyawa yang berbahaya lagi untuk diaplikasikan pada produk-produk makanan.



Gambar 6. Asap cair

Diketahui bahwa temperatur dalam pembuatan asap cair merupakan faktor utama yang paling menentukan kualitas dari asap cair yang dihasilkan. Kandungan maksimum senyawa-senyawa fenol, karbonil, dan asam dicapai pada temperatur pirolisis 600 °C. Akan tetapi produk yang diberikan asap cair yang dihasilkan pada temperatur 400 °C dinilai mempunyai kualitas organoleptik yang terbaik dibandingkan dengan asap cair yang dihasilkan pada temperatur pirolisis yang lebih tinggi (Darmadji dkk., 1999).

I. Karakterisasi Bahan Baku Sekam Padi Bebas Silika

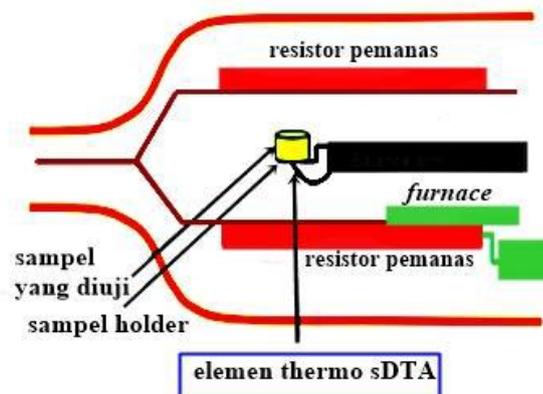
1. *Differential Thermal Analysis/Thermogravimetric Analysis (DTA/TGA)*

DTA merupakan salah satu teknik analisis termal dimana perubahan dalam suatu material diukur sebagai fungsi temperatur. DTA digunakan untuk mempelajari suatu sifat termal dan perubahan fasa akibat perubahan suatu entalpi dari material. Selain itu, pada kurva DTA dapat digunakan sebagai *finger print* material sehingga dapat digunakan untuk analisis kualitatif. Metode ini mempunyai kelebihan yaitu instrument dapat digunakan pada suhu yang tinggi, bentuk serta volume sampel yang fleksibel, dan dapat menentukan suhu reaksi dan suhu transisi dalam suatu sampel (Stevens, 2001).

Prinsip kerja analisis DTA adalah pengukuran perbedaan temperatur yang terjadi antara material sampel dan pembanding sebagai hasil dari reaksi dekomposisi. Sampel adalah material yang akan dianalisis, sedangkan material referensi adalah material dengan substansi yang diketahui dan aktif secara termal. Dengan menggunakan DTA, material akan dipanaskan pada suhu tinggi dan akan mengalami reaksi dekomposisi. Dekomposisi material ini dapat diamati dalam bentuk kurva DTA sebagai fungsi temperatur yang diplotkan terhadap waktu. Pada umumnya, DTA digunakan untuk analisis pada range suhu 190-1600 °C. Sampel yang digunakan hanya beberapa miligram. Hal ini dilakukan untuk mengurangi masalah gradient termal

akibat sampel terlalu banyak yang menyebabkan berkurangnya sensitivitas dan akurasi dari instrument tersebut.

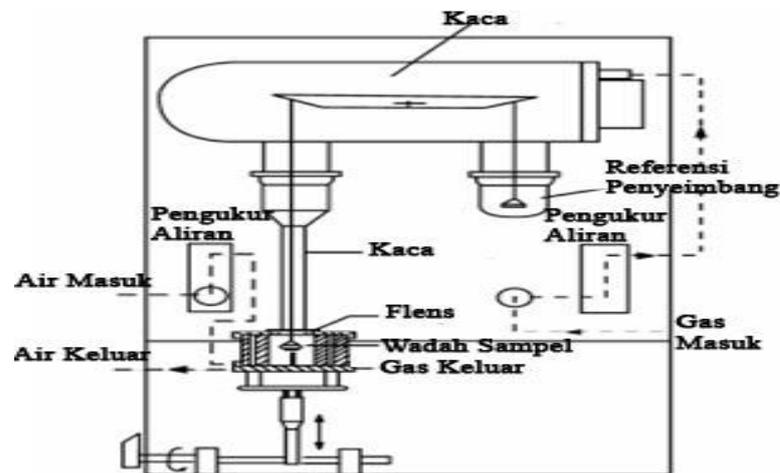
TGA merupakan suatu teknik untuk menentukan stabilitas termal suatu material dan fraksi komponen dari suatu senyawa *volatile* dengan menghitung perubahan berat yang dihubungkan dengan perubahan temperatur. Seperti analisis ketepatan yang tinggi pada tiga pengukuran yaitu pada pengukuran berat, temperatur, dan perubahan temperatur. Suatu kurva yang kehilangan berat dapat digunakan untuk mengetahui titik hilangnya berat (Stevens, 2001). Pengukuran TGA dilakukan di udara atau pada atmosfer yang bersifat inert, seperti helium atau argon, dan berat yang dihasilkan sebagai fungsi dari kenaikan temperatur. Pengukuran dapat juga dilakukan pada atmosfer oksigen (1-5% di dalam N_2 atau He) untuk melambatkan oksidasi.



Gambar 7. Skema alat DTA

Instrumen DTA/TGA dapat digunakan untuk menentukan titik lebur, suhu transisi kaca, kristalinitas, kelembaban atau kandungan *volatile*, stabilitas termal dan oksidatif, kemurnian, dan transformasi suhu. Material yang digunakan sebagai referensi ideal adalah sebuah substansi dengan massa termal yang sama

sebagai sampel. Pada DTA, biasanya digunakan bubuk alumina (Al_2O_3) dan magnesium oksida (MgO) sebagai material referensi untuk analisis komponen anorganik (Shriver and Atkins, 2006).



Gambar 8. Skema alat TGA

DTA/TGA dapat dioperasikan dengan rentang suhu dari (-200) - 1600 °C, dengan rata-rata pemanasan 100 °C/menit dan rata-rata kenaikan suhu 10 - 20 °C. Pada DTA terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi transfer panas diantaranya adalah bahan sampel yang digunakan, massa, volume, kapasitas pemanasan, dan konduktivitas pemanasan (Anthony, 2001).

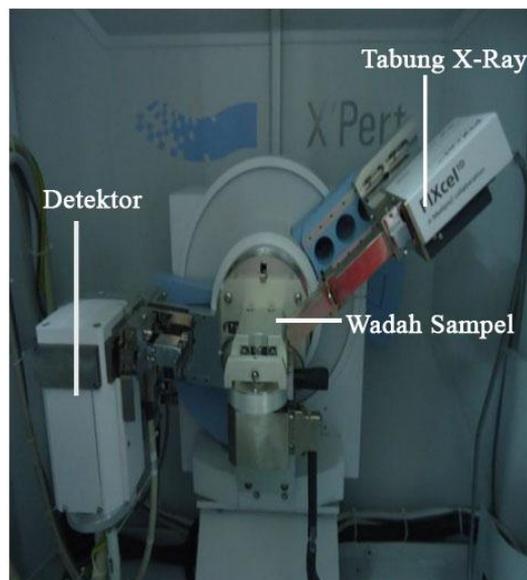
J. Karakterisasi Zeolit

1. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Metode *X-Ray Diffraction* (XRD) secara umum digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit (amorf). Metode XRD memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X yang nantinya akan menghasilkan komposisi mineral suatu material dalam bentuk

bubuk (*powder*). Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 \AA (Alfaruqi, 2008). Fasa padatan sintesis diidentifikasi dengan membandingkan langsung dengan referensi yang diambil dari *collection of simulated XRD powder patterns for zeolites* (Treacy and Higgins, 2001; Cheng *et al.*, 2005).

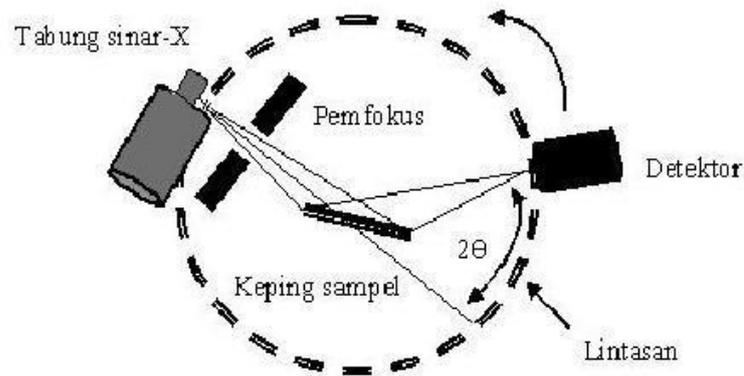
X-Ray Diffractometer adalah sebuah alat yang digunakan untuk memeriksa struktur kristal dari bahan atau zat yang halus .



Gambar 9. Alat *X-Ray Diffraction* (Beiser, 1997)

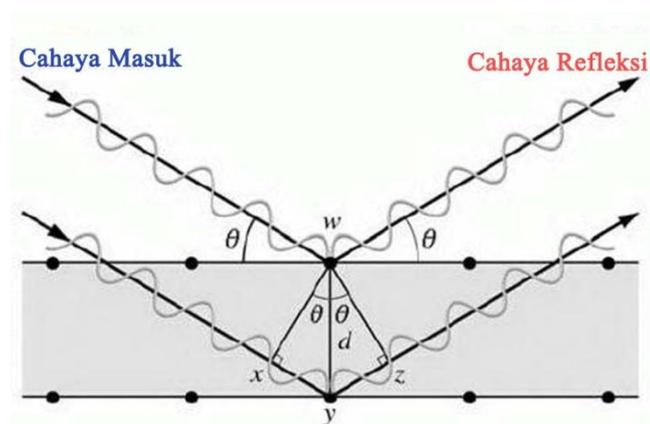
Langkah kerja untuk menggunakan Alat *X-Ray Diffraction* adalah pertama menyiapkan sampel yang akan diukur kemudian memasukkannya kedalam sampel holder dan meratakannya, setelah rata sampel dimasukkan ke *specimen* dan dimasukkan kedalam sampel *stage* pada komponen alat XRD. Proses difraksi sinar-X dimulai dengan menghidupkan Alat XRD. Kemudian

tabung sinar-X pada alat XRD akan mengeluarkan sinar-X yang difokuskan menembak sampel padatan kristalin, sehingga sinar mendifraksikan ke segala arah dengan memenuhi hukum Bragg.



Gambar 10. Skema difraktometer sinar-X serbuk (Bajili, 2014)

Berkas sinar terdifraksi diartikan sebagai berkas sinar yang terdiri dari sejumlah berkas sinar yang terhambur dan saling memperkuat.



Gambar 11. Difraksi bidang kisi (Amilius *et al.*, 1999)

Data yang telah diolah kemudian diinterpretasikan dengan cara menganalisis puncak-puncak intensitas tersebut menggunakan hukum Bragg. Berkas sinar datang, normal pada bidang kisi mendifraksi dan sinar terdifraksi selalu

berada pada bidang datar. Sudut antar berkas sinar terdifraksi dengan berkas sinar datang selalu sama dengan 2θ , berupa sudut difraksi. Mengingat $\sin \theta$ tidak boleh lebih besar dari satu, maka difraksi hanya dapat terjadi jika panjang gelombang kecil sama dengan dua kali jarak antar atom dalam kristal. Persamaan dari hukum Bragg sebagai berikut:

$$d_{hkl} = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

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

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

Puncak-puncak yang diperoleh dari hasil pengukuran dapat ditentukan karakterisasi sampel tersebut dengan mencocokkan puncak-puncak dengan *database* yang sudah ada.

Selim *et al.* (2017), telah melakukan penelitian sintesis zeolit-A dengan menggunakan butiran aluminium dengan natrium silikat komersial dengan metode hidrotermal pada suhu $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 8 jam, menghasilkan difraktogram XRD dengan sudut 2θ pada puncak-puncak tertinggi sebesar 7.22° , 10.19° , 12.48° , 16.13° , 21.68° , 24.01° , 26.15° , 27.15° , 29.96° , dan 34.21° . Penelitian lainnya dilakukan oleh Gougazeh dan Buhl, (2014) dengan mensintesis bahan dari zeolit-A dengan transformasi hidrotermal kaolin dalam larutan NaOH berbagai konsentrasi pada suhu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 20 jam,

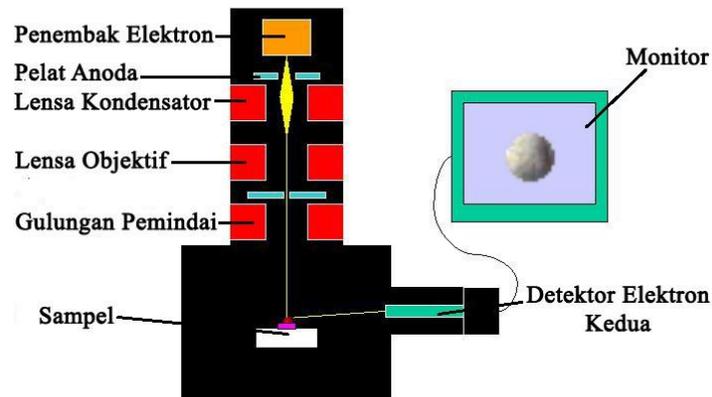
konsentrasi NaOH berkisar 1,5-3,5 M. Hasil XRD yang diperoleh yaitu puncak tertinggi pada sudut 12.34° dan 24.64° dengan sudut 2θ .

2. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati suatu permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran dari 10–3.000.000 kali dengan resolusi sebesar 1–10 nm dan *depth of field* sebesar 4–0.4 nm. Dengan fasilitas tersebut, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. SEM memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek.

Komponen utama alat SEM yang pertama adalah tiga pasang lensa-lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, lalu dua pasang *scan coil* discan-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Semakin kecil berkas difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dicapai. Komponen utama kedua dari SEM adalah sumber elektron, biasanya berupa filamen dari bahan kawat *tungsten* atau berupa jarum dari paduan *Lantanum Hexaboride* (LaB_6) atau *Cerium Hexaboride* (CeB_6) yang dapat menyediakan berkas elektron yang teoritis memiliki energi tunggal (monokromatik). Komponen SEM yang ketiga adalah *imaging detector*, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi

gambar/*image*. Sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM ini, yaitu detektor *Secondary Electron* (SE) dan detektor *Back Scattered Electron* (BSE).



Gambar 12. Skema alat SEM

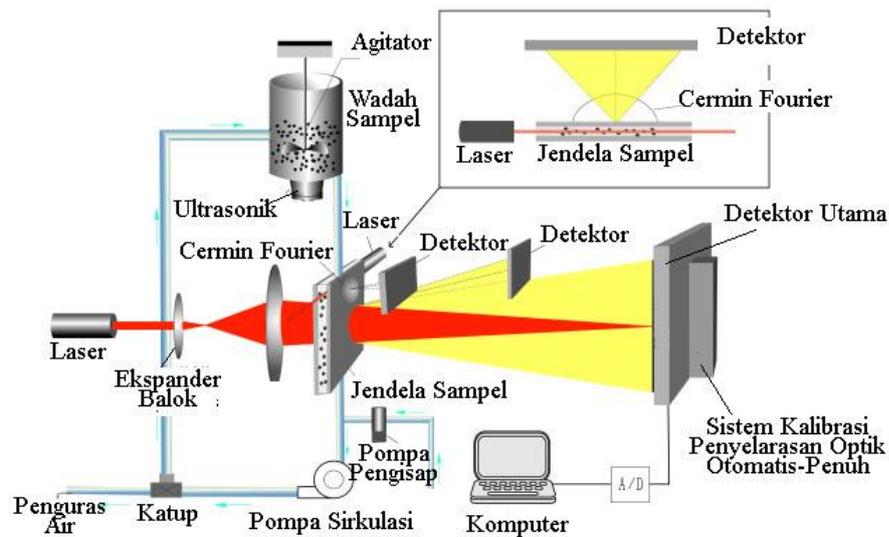
Ketika berkas elektron *discan* pada permukaan sampel, terjadi interaksi elektron dengan atom-atom di permukaan maupun di bawah permukaan. Akibat interaksi tersebut sebagian besar berkas elektron berhasil keluar kembali, elektron-elektron tersebut disebut *Back Scattered Electron* (BSE), sebagian kecil elektron masuk ke dalam bahan kemudian memindahkan sebagian besar energi pada elektron atom sehingga terpelanting keluar permukaan bahan, disebut *Secondary Electron* (SE). Pembentukan elektron-elektron sekunder selalu diikuti proses munculnya *X-Ray* yang karakteristik untuk setiap elemen, sehingga dapat digunakan untuk mengukur kandungan elemen yang ada di dalam bahan yang diteliti (Sujatno dkk., 2015).

Ismail dkk. (2010), telah melakukan penelitian sintesis zeolit-A dari prekursor silika berasap dengan berat sebesar 99,8% dan natrium alumina

pada kondisi yang optimal, dengan memodifikasi parameter sintesis rasio dari Si/Al sebesar 1:1; 1,5:1; 1,75:1; dan 2:1. Hasil SEM yang didapat berbentuk kristal kubik yang terbentuk pada semua rasio Si/Al. Rasio Si/Al 1,5:1 memberikan kristal dengan tepi miring, sedangkan rasio lainnya memberikan kristal dengan permukaan planar yang tajam dan terdefinisi dengan baik ujung-ujungnya. Kristal yang dihasilkan disemua rasio memiliki rata-rata panjang dimensi sebesar 5 μ m.

3. Particle Size Analyzer (PSA)

PSA merupakan suatu alat yang digunakan pada proses karakterisasi untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel dari suatu sampel. Banyak metode yang dapat digunakan untuk mengetahui ukuran suatu partikel. Akan tetapi, pada saat ini penentuan ukuran partikel umumnya menggunakan PSA karena lebih akurat dibandingkan dengan metode yang lainnya. Prinsip kerja dari PSA adalah berkas cahaya (laser) dilewatkan melalui sel berisi sampel. Sampel dengan ukuran besar ketika terkena cahaya dari suatu laser akan membentuk berkas cahaya. Analisis dapat dilakukan dengan mendispersikan sampel dengan dua cara. 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 dari sampel tersebut.

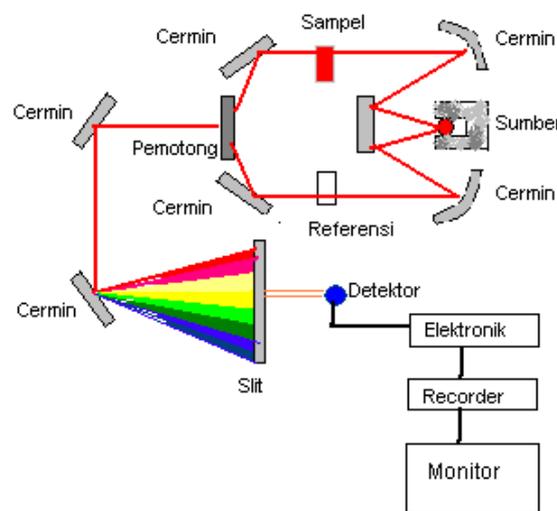


Gambar 13. Skema alat PSA (Lubis, 2012)

Berdasarkan laporan penelitian (Anita, 2018), telah dilakukan pembuatan prekursor zeolit-A dari silika sekam padi sebagai sumber silika, yang diekstrak dengan metode alkalis menggunakan larutan NaOH 1,5% dan logam aluminium sebagai sumber alumina yang dilarutkan kedalam NaOH 10 M. Pembuatan prekursor ini dilakukan dengan metode sol-gel untuk proses pirolisis pengolahan campuran bagas tebu dan minyak biji karet menjadi bahan bakar cair. Dilakukan beberapa variasi suhu kalsinasi pada zeolit-A yaitu 600, 700, 800, dan 900 °C. Hasil analisis PSA yang dihasilkan menunjukkan kurva distribusi partikel untuk keempat sampel memiliki bentuk yang simetris artinya distribusi partikel mengikuti distribusi normal. Keempat sampel tersebut memiliki ukuran partikel dan rentang yang bervariasi, pada suhu 600 °C memiliki rentang 32,67-105,70; suhu 700 °C sebesar 32,67-58,77; suhu 800 °C sebesar 37,84-78,82, dan suhu 900 °C memiliki rentang 78,82-295,30.

4. *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*

FTIR merupakan suatu teknik analisis yang digunakan untuk melihat atom-atom dalam sebuah molekul melalui vibrasi yang ditimbulkan oleh atom-atom tersebut. Untuk dapat melihat atom-atom tersebut dibutuhkan suatu spektrum *InfraRed (IR)* yang dapat diperoleh dengan cara menembakkan radiasi sinar infra merah kedalam suatu sampel untuk 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 pada suatu sampel yang dianalisis atom-atomnya (Ayyad, 2011). Sensitivitas FTIR adalah 80-200 kali lebih tinggi dari instrumentasi dispersi standar karena resolusinya lebih tinggi.



Gambar 14. Skema FTIR (Kroschwitz, 1990)

Prinsip dasar dari analisa FTIR adalah penyerapan radiasi elektromagnetik oleh gugus-gugus fungsi tertentu, sehingga dari spektrum serapan yang

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

Pada analisis berupa zeolit, gugus fungsi yang dapat dideteksi dengan FTIR adalah pita serapan melebar dengan intensitas kuat pada daerah 1095-1092 cm^{-1} yang menunjukkan karakteristik vibrasi gugus siloksan (Si—O—Al), pita serapan sekitar 420-494 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus Si—O—Si. Pita serapan lainnya menunjukkan adanya vibrasi Al—O yaitu pada daerah 470-480 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 (Platon and Thomson, 2003).

Berdasarkan penelitian Azizi *et al.* (2012), telah dilakukan sintesis zeolit NaA menggunakan PTMAOH dengan metode hidrotermal dan *microwave*.

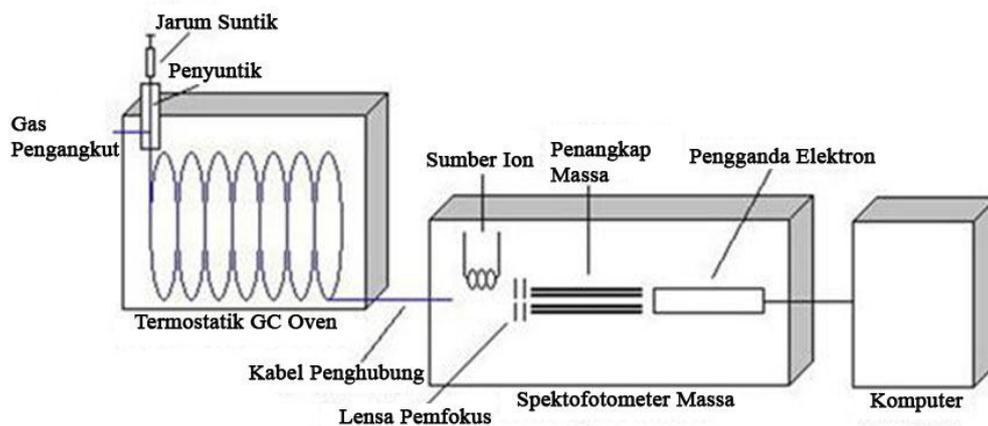
Sumber silika diproduksi dari silikon tetraklorida menggunakan air suling ganda, sebagai sumber alumina diproduksi dengan melarutkan 2 gram aluminium foil dalam larutan NaOH 5 M. Kemudian dicampurkan pada wadah hidrotermal dan kemudian ditempatkan dalam oven pada suhu 90 °C

selama 42 jam. Endapan yang didapat disaring dan dicuci dengan air suling ganda dan kemudian dikeringkan pada 105 °C selama 48 jam. Hasil FTIR yang didapatkan terdapat ikatan Si—O—Si, O—Si—O, dan Al—O pada bilangan gelombang 690-800 cm⁻¹. Pada saat yang sama, posisi pita serapan paling intensif di wilayah 950-1200 cm⁻¹ yang muncul dari getaran peregangan Si(Al)—O. Perbandingan intensitas pita kisi di wilayah 550-650 cm⁻¹ dengan intensitas pita lentur internal di wilayah 410-470 cm⁻¹ dapat digunakan untuk menentukan tingkat amorfisasi pada zeolit-A.

K. Analisis Bahan Bakar Cair

1. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) merupakan suatu gabungan dari instrumen GC dan MS. Kedua alat dihubungkan dengan satu interfase. Kromatografi gas berfungsi sebagai alat pemisah berbagai komponen campuran dalam sampel sedangkan spektrometer massa berfungsi untuk mendeteksi masing-masing molekul komponen yang telah dipisahkan pada sistem kromatografi gas. GC-MS dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kromatogram GC-MS memberikan informasi jumlah komponen senyawa yang terpisah. Luas puncak kromatogram merepresentasikan konsentrasi (%) senyawa relatif terhadap cuplikan yang menguap pada kondisi pengoperasian GC-MS.



Gambar 15. Skema alat GC-MS (Simangunson, 2015)

Instrumen GC-MS terdiri dari gas pengangkut (*gas carrier*), pengatur aliran dan pengatur tekanan, tempat injeksi, kolom, dan detektor. Gas pengangkut yang digunakan dalam GC-MS harus memiliki persyaratan khusus diantaranya yaitu inert (tidak bereaksi dengan sampel, pelarut, dan material kolom) dan dapat mengurangi difusi gas (Sastrohamidjojo, 2005). Dalam pemisahan GC-MS, sampel harus dalam bentuk gas. Teknik injeksi yang digunakan tergantung pada jenis sampel. Jenis-jenis teknik injeksi pada GC-MS antara lain *split*, *split less*, *on coloumn*, dan *wet needle*. Pemilihan jenis teknik injeksi yang akan digunakan tergantung pada sifat sampel dan banyaknya sampel. Keberhasilan atau kegagalan analisis GC-MS tergantung pada pemilihan kolom dan kondisi kerja yang tepat (Septyaningsih, 2010).

2. Analisis Secara Fisik

Setelah dilakukan analisis secara kimia dari bahan bakar cair tersebut, selanjutnya diuji kelayakan bahan bakar cair berdasarkan beberapa parameter fisik. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) pada tahun 2015, parameter

fisik yang digunakan untuk menguji kelayakan dari bahan bakar cair antara lain berupa titik nyala (*flash point*), densitas, dan viskositas dari bahan bakar cair tersebut.

a. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala merupakan suatu uji analisis secara fisik yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar cair dimana akan menimbulkan nyala api yang sesaat, apabila pada bahan bakar cair didekatkan pada sumber api. Titik nyala ini sangat diperlukan berhubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap resiko yang ditimbulkannya yaitu bahaya akan kebakaran yang terjadi.

b. Densitas

Densitas merupakan suatu perbandingan antara berat persatuan volume minyak solar. Pada karakteristik ini sangat berhubungan dengan nilai panas kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan bahan bakar yang digunakan. Pengukuran densitas dapat dilakukan dengan menggunakan alat piknometer.

c. Viskositas

Viskositas merupakan suatu nilai yang menyatakan besarnya nilai suatu hambatan aliran pada bahan cair. Penyebab dari viskositas adalah adanya gaya kohesi atau gaya tarik menarik antar molekul yang sejenis. Pengukuran

viskositas pada suatu cairan dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode bola jatuh, metode *plate and cone*, piringan sejajar, metode kapilaritas, dan metode silinder konsentrik (Hananto *et al.*, 2011). Semakin tinggi nilai viskositas pada bahan bakar cair, maka semakin sukar untuk mengalir (Wardan dan Zainal, 2003). Pada dasarnya, viskositas menjadi parameter penting dalam menentukan kualitas suatu bahan bakar cair, semakin rendah nilai viskositas maka kualitas bahan bakar cair semakin baik, karena apabila viskositas relatif rendah maka akan mudah mengalir dan teratomisasi. Jika nilai suatu viskositas relatif tinggi maka akan menyebabkan gesekan di dalam pipa semakin besar, kerja pada pompa berat, penyaringannya sulit dan kemungkinan besar kotoran ikut terendap (Dyah, 2011).

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan di Laboratorium Kimia Dasar dan Laboratorium Anorganik/Fisik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, pada bulan Januari sampai April 2019. Analisis DTA/TGA pada biomassa sekam padi bebas silika telah dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi, Universitas Lampung. Karakterisasi zeolit-A menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) telah dilakukan di Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong, *Scanning Electron Microscope* (SEM) telah dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi, Universitas Lampung. Karakterisasi menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) telah dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Padjajaran, dan *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) telah dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia. Pada analisis bahan bakar cair dari hasil pirolisis menggunakan *Gas Chromathography-Mass Spectrometry* (GC-MS) telah dilakukan di Laboratorium Kimia Organik, FMIPA, Universitas Gadjah Mada. Uji kualitas titik nyala telah dilakukan di SMK SMTI, Bandar Lampung, densitas dan viskositas telah dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar, FMIPA, Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

1. Alat-alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat penggiling, alat pirolisis, blender, kompor, neraca analitik, oven, peralatan gelas, tanur, teflon, toples, DTA/TGA, XRD, PSA, SEM, FTIR, GC-MS, dan Viskometer Ostwald.

2. Bahan-bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekam padi, aluminium foil, minyak kelapa sawit, larutan NaOH 1,5%, NaOH padat, larutan HNO₃ 1 M, tempurung kelapa, akuades, kertas saring, dan indikator universal.

C. Prosedur Kerja

1. Pembuatan Asap Cair

Tempurung kelapa dijemur lalu ditumbuk hingga berukuran kecil. Setelah itu, dimasukkan kedalam reaktor curah dan dipirolisis dengan suhu 400 °C selama 3 jam. Produk yang dihasilkan berupa asap cair *grade 3* berwarna hitam dan ditampung di dalam botol. Kemudian asap cair *grade 3* didestilasi dengan suhu 250 °C menjadi *grade 2* yang berwarna coklat bening, digunakan untuk mengegelkan sol silika.

2. Preparasi Sekam Padi

Tahap awal pada penelitian ini adalah preparasi sekam padi, limbah sekam padi yang sudah tidak digunakan, diayak hingga terbebas dari kotoran berukuran kecil yang menempel, kemudian sekam padi direndam dengan air yang panas selama 1 jam dan dicuci beberapa kali agar senyawa organik yang larut dengan air terbuang bersama kotoran yang menempel pada sekam padi, dan juga berfungsi untuk memisahkan sekam padi yang mengandung banyak silika dengan yang mengandung sedikit silika. Sekam padi yang tenggelam ketika dicuci diambil karena mengandung banyak silika, sedangkan pada sekam padi yang mengapung dibuang karena mengandung sedikit silika, setelah diambil sekam padi yang mengandung banyak silika lalu dikeringkan dengan cara dijemur dibawah sinar matahari. Setelah sekam padi kering, direndam dengan HNO_3 1 M selama 24 jam. Perendaman dengan HNO_3 bertujuan untuk menghilangkan lignin pada sekam padi, kemudian dibilas dengan air hingga tidak berbau asam dan dijemur sampai kering.

3. Ekstraksi Silika Sekam Padi

Pada ekstraksi silika sekam padi, metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan metode sol-gel (Simanjuntak *et al.*, 2013). Sebanyak 200 gram sekam padi yang sudah kering ditimbang kemudian direndam dalam 2000 mL NaOH 1,5% lalu dipanaskan sampai mendidih selama 30 menit. Campuran tersebut didinginkan pada suhu kamar (25 °C) lalu didiamkan selama 12 jam. Selanjutnya, campuran tersebut disaring dan filtrat yang

mengandung silika terlarut (sol silika) ditampung, sedangkan residu atau ampas dari sekam padi yang sudah diekstrak, dicuci kembali dan dijemur sampai kering sehingga menghasilkan sekam padi bebas silika yang digunakan dalam bahan baku pada tahap selanjutnya yaitu proses pirolisis.

Filtrat yang mengandung silika kemudian digelkan dengan menambahkan asap cair *grade 2* secara bertahap hingga berubah menjadi fasa gel dan memiliki pH 7 (netral) (Simanjuntak *et al.*, 2016). Sol silika yang telah terbentuk dengan penambahan asap cair didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar (25 °C), hal ini bertujuan agar sol silika mengalami *ageing* (penuaan) sehingga terbentuk gel silika berwarna coklat yang sempurna. Setelah terbentuk dengan sempurna, gel tersebut dicuci dengan air panas hingga bersih dengan ditandai perubahan warna gel dari coklat menjadi putih kecoklatan. Kemudian dikeringkan di oven dengan suhu 80 °C selama kurang lebih 2 hari, lalu digerus sampai halus hingga menjadi bubuk.

4. Pembuatan Katalis Zeolit

Pada pembuatan katalis zeolit-A, tahap awal yaitu ditimbang sebanyak 40 gram NaOH padat lalu dilarutkan dalam 200 mL akuades, dan larutan NaOH tersebut dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama digunakan untuk melarutkan 60 gram silika sekam padi. Sedangkan bagian yang kedua digunakan untuk melarutkan 27 gram aluminium foil. Kedua larutan tersebut kemudian dicampurkan dan diblender hingga menjadi homogen. Setelah homogen, zeolit dikristalisasi di dalam oven dengan variasi waktu 72, 96, dan

120 jam pada suhu 110 °C. Setelah selesai dikristalisasi, zeolit yang masih basah dikeringkan didalam oven pada suhu 80 °C hingga kering, lalu digerus sampai halus dan disaring dengan mesh hingga menjadi bubuk.

Kemudian zeolit-A yang telah halus dikalsinasi di tanur. Kalsinasi bertujuan untuk mengubah Al dan Si yang terkandung dalam zeolit-A menjadi oksida, mengaktifkan situs aktif pada permukaan zeolit dan menghilangkan pengotor agar katalis menjadi lebih efektif (Susanti, 2015). Katalis zeolit dipanaskan dari suhu awal yaitu 25 °C hingga mencapai suhu 550 °C dan dipertahankan selama 6 jam. Setelah 6 jam, tanur dimatikan dan zeolit-A didiamkan selama satu hari agar suhu pada tanur turun menjadi suhu kamar (25 °C).

Selanjutnya, zeolit-A dihaluskan dan disaring dengan mesh untuk mendapatkan serbuk zeolit. Zeolit yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi dan akan digunakan dalam uji reaksi pirolisis menggunakan sekam padi bebas silika dan minyak kelapa sawit untuk menghasilkan bahan bakar cair.

5. Karakterisasi Zeolit

a. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Karakterisasi dengan XRD dilakukan untuk menganalisis pengaruh suhu kalsinasi terhadap struktur kristalografi sampel aluminosilikat, apakah sampel bersifat amorf atau kristalin. Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis menggunakan XRD adalah sebagai berikut:

1. Sampel disiapkan dan direkatkan pada kaca, kemudian dipasang pada tempatnya yang berupa lempeng tipis berbentuk persegi panjang (sampel *holder*) dengan bantuan lilin perekat.
2. Sampel yang disimpan dipasang pada sampel *holder* kemudian dilekatkan pada sampel *stand* dibagian goniometer.
3. Parameter pengukuran dimasukkan pada *software* melalui komputer pengontrol meliputi penentuan *scan mode*, penentuan rentang sudut, kecepatan *scan* cuplikan, memberi nama cuplikan dan memberi nomor urut file data.
4. Alat difraktometer dioperasikan dengan perintah *Start* pada menu komputer, dimana sinar-X akan meradiasi sampel yang tepancar dari target Cu dengan panjang gelombang 1,5406 Å.
5. Hasil difraksi dapat dilihat pada komputer dan intensitas difraksi pada sudut 2θ tertentu dan dapat dicetak oleh mesin printer.
6. Sampel dari *sample holder* diambil setelah pengukuran cuplikan selesai.

b. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Analisis menggunakan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan, ukuran partikel, dan unsur-unsur yang terkandung dalam sampel.

Analisis menggunakan SEM ini dilakukan pada sampel katalis yang dihasilkan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam uji SEM adalah sebagai berikut:

1. Sampel yang akan dianalisis disiapkan dan direkatkan pada *specimen holder* (*Dolite, double sticy tape*).

2. Sampel yang telah dipasang pada *holder* kemudian dibersihkan dengan *hand blower*.
3. Sampel dimasukkan dalam mesin *coating* untuk diberi lapisan tipis yang berupa *gold-poladium* selama 4 menit sehingga menghasilkan lapisan dengan ketebalan 200-400 Å.
4. Sampel dimasukkan kedalam *specimen chamber*.
5. Pengamatan dan pengambilan gambar pada layer SEM dengan mengatur pembesaran yang diinginkan.
6. Penentuan spot untuk analisis pada layer SEM.
7. Pemotretan gambar SEM.

c. Particle Size Analyzer (PSA)

Karakterisasi untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel pada katalis yang diperoleh juga sangat penting dilakukan. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan instrumen *Particle Size Analyzer (PSA)*. PSA merupakan salah satu instrumen nanoteknologi yang menggunakan metode *Laser Diffraction (LAS)* dalam aplikasinya. Alat ini menggunakan prinsip *Dynamic Light Scattering (DLS)*. Metode ini juga dikenal sebagai *Quasi-Elastic Light Scattering (QUELS)*. Alat ini berbasis *Photon Correlation Spectroscopy (PCS)*. PSA yang menggunakan metode LAS dibagi menjadi dua metode, yaitu:

1. Metode basah, metode ini menggunakan media pendispersi untuk mendispersikan material uji.

2. Metode kering, metode ini memanfaatkan udara atau aliran udara untuk melarutkan partikel dan membawanya ke *sensing zone*. Metode ini baik digunakan untuk ukuran yang kasar, dimana hubungan antarpartikel lemah dan kemungkinan untuk beraglomerasi kecil.

d. Fourier Transform InfraRed (FTIR)

Karakterisasi dengan FTIR dilakukan untuk menganalisis gugus fungsi dari katalis. Langkah-langkah dalam analisis FTIR adalah sebagai berikut:

1. Beberapa gram sampel dan KBr padat dihaluskan bersama-sama (perbandingan gram katalis dengan gram KBr 1:100).
2. Sampel yang telah digerus dengan KBr kemudian dibentuk *pellet*.
3. *Pellet* sampel dalam KBr selanjutnya dimasukkan dalam wadah sampel dan dianalisis.

6. Preparasi Bahan Baku Sekam Padi Bebas Silika

Sekam padi bebas silika didapatkan dari residu atau ampas sekam padi yang sudah diekstraksi menggunakan NaOH. Sekam padi bebas silika kemudian dicuci dengan air biasa, lalu dijemur sampai kering. Setelah itu, sekam padi bebas silika yang sudah kering digiling menggunakan alat penggiling hingga menjadi bubuk yang halus.

7. Proses Pirolisis

Proses pirolisis dilakukan dengan metode reaktor curah. Sekam padi bebas silika kering yang telah digiling menjadi bubuk halus dimasukkan kedalam

reaktor pirolisis dengan ditambahkan minyak kelapa sawit, lalu ditambahkan katalis zeolit sebanyak 10% dari jumlah bahan pada penelitian yang sudah dimasukkan kedalam reaktor pirolisis. Sehingga sekam padi bebas silika yang digunakan sebanyak 100 gram dan zeolit sebanyak 10 gram dengan volume minyak kelapa sawit sebanyak 300 mL. Kemudian dipirolisis pada suhu yang sesuai dengan suhu optimum sekam padi bebas silika yang diperoleh dari analisis DTA/TGA selama 3 jam. Produk cair yang dihasilkan dari reaktor ditampung dan dipisahkan antara fasa atas (organik) dan bawah (air). Kemudian fasa atas yang diperoleh dianalisis. Hasil analisis fasa atas (organik) yang mengandung hidrokarbon terbanyak dilakukan destilasi dan dianalisis.

8. Analisis Bahan Bakar Cair

Analisis bahan bakar cair dengan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) yang dilakukan untuk mengidentifikasi komponen-komponen penyusun pada bahan bakar cair serta uji fisik sebagai acuan kelayakan dari bahan bakar cair berupa titik nyala (*flash point*), densitas, dan viskositas.

a. *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS)

Analisis GC-MS bertujuan untuk mengidentifikasi komponen dalam sampel, dan secara khusus untuk melihat apakah senyawa-senyawa dalam sampel mampu diubah menjadi hidrokarbon. Langkah-langkah yang dilakukan dalam menggunakan GC-MS adalah sebagai berikut:

1. Transformator/*power supply* dinyalakan, kemudian tombol *on* ditekan pada alat GC-MS, berturut-turut untuk power *Ion Gauge* (I. G.), MS, dan GC. Gas He dialirkan dan dihidupkan komputer, monitor, serta printer.
2. Menu *Class-5000* dipilih dan klik *vacum control*, serta *auto start up* dijalankan.
3. GC-MS monitor diaktifkan, set temperatur injektor, kolom, dan detektor. Kemudian ditunggu hingga tekanan vakum di bawah 4 kPa.
4. *Tuning* diaktifkan, diklik *auto tune*, *load method* yang akan digunakan kemudian klik start dan ditunggu beberapa saat sampai hasilnya tercetak, setelah selesai klik *close tuning*.
5. *Method development* diaktifkan, set GC parameter, set MS parameter, *save* metode yang telah dideskripsikan, kemudian klik *exit*.
6. *Real time analysis* diaktifkan dan dipilih parameter *single sample*, kemudian diisi dengan deskripsi yang diinginkan.
7. *Send parameter* dilakukan, tunggu sampai GC dan MS siap, kemudian dilakukan injeksi sampel.
8. *Post run analysis* diaktifkan, kemudian pilih *browser* untuk analisis sampel secara kualitatif.
9. Pengaturan *peak top comment* (*peak label*) dilakukan, dan reintegrasi *load file* yang dianalisa. Kemudian dipilih *display spectrum search* pada puncak tertentu dan dilakukan *report* pada bagian yang diinginkan.
10. Untuk mengakhiri, temperatur injektor, kolom, dan detektor pada GC-MS monitor didinginkan sampai temperatur ruangan (30 °C). Apabila sudah tercapai, *vacum control* diklik dan dilakukan *auto shut down*. Perangkat

alat dimatikan dengan urutan awal yaitu komputer, GC, MS, IG, dan gas He.

b. Titik Nyala (*Flash Point*)

Langkah-langkah dalam analisis *flash point* pada bahan bakar cair adalah sebagai berikut:

1. Mangkok uji dibersihkan dan dikeringkan sebelum digunakan.
2. Sampel dimasukkan ke mangkok uji hingga batas yang telah ditentukan.
3. Suhu sampel dan mangkok uji diatur sekitar 18 °C di bawah kisaran Perkiraan suhu *flash point* sampel.
4. Mangkok uji ditutup dan cahaya nyala dihidupkan dan diatur intensitasnya (kenaikan suhu diatur sebesar 5-6 °C/menit dan sampel diaduk dengan Menggunakan alat pengaduk pada kecepatan 90-12 rpm).
5. Pengadukan dihentikan dan gas pembakar ditambahkan dengan Mengoperasikan penutup mangkok uji.

c. Densitas

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

1. Piknometer kosong dikeringkan didalam oven kemudian ditimbang terlebih dahulu.
2. Kemudian piknometer diisi dengan sampel kemudian ditimbang

kembali, berat sampel sama dengan selisih antara piknometer kosong dengan piknometer yang berisi sampel.

3. Densitas sampel kemudian dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{W_1 - W_2}{V}$$

Keterangan:

ρ = Densitas sampel (g/mL)

W_1 = Berat piknometer kosong (g)

W_2 = Berat piknometer yang diisi dengan sampel (g)

V = Volume piknometer (mL)

d. Viskositas

Viskositas diukur untuk mengetahui kekentalan suatu sampel. Dalam penelitian ini viskositas yang digunakan adalah Viskometer Ostwald.

Langkah-langkah dalam analisis viskositas adalah sebagai berikut:

1. Viskometer Ostwald yang digunakan terlebih dahulu dicuci dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C.
2. Viskometer diisi dengan sampel pada suhu kamar.
3. Pada kondisi viskometer telah mencapai kondisi yang diinginkan maka Ketinggian sampel dengan kapiler disesuaikan dengan menggunakan pompa hisap hingga melebihi sedikit garis batas.
4. Sampel kemudian dibiarkan turun serta dihitung waktu sampai tanda batas.
5. Waktu yang diukur adalah waktu miniskus untuk melewati dari sasaran

pertama menuju waktu sasaran kedua.

6. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Sintesis zeolit-A dengan silika sekam padi dan aluminium foil dengan metode hidrotermal telah berhasil, yang dibuktikan dengan analisis XRD, SEM, PSA, dan FTIR.
2. Hasil karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), menunjukkan bahwa Zeo-72 dan Zeo-96 terbentuk fasa kristalin mengandung zeolit-A dan mengandung sodalit serta fasa amorf, sedangkan Zeo-120 terbentuk fasa kristalin mengandung sodalit dan fasa amorf.
3. Hasil karakterisasi menggunakan SEM menghasilkan sampel dengan morfologi bentuk permukaan yang heterogen, PSA menunjukkan distribusi ukuran partikel yang berbeda-beda dari ketiga sampel. Sedangkan hasil FTIR menghasilkan gugus fungsi senyawa yang sama pada ketiga sampel.
4. Ketiga sampel memiliki karakteristik yang baik untuk menghasilkan bahan bakar cair. Sampel Zeo-96 menghasilkan hidrokarbon tertinggi sebesar 93,59% daripada Zeo-72 dan Zeo-120 berturut-turut sebesar 92,95 dan 84,72%.

5. Hasil fraksinasi bahan bakar cair dengan katalis Zeo-96 menghasilkan fraksi ringan yang mengandung 100% hidrokarbon dan panjang rantai karbon yang dihasilkan termasuk dalam fraksi biogasolin.
6. Karakteristik bahan bakar cair hasil pirolisis belum sesuai standar dari semua persyaratan yang diukur berdasarkan standar *Engineers Edge*, sehingga tidak dapat diaplikasikan secara langsung pada alat transportasi.

B. Saran

Beberapa hal yang perlu disarankan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Disarankan untuk dapat mensintesis zeolit-A dengan kemurnian yang lebih tinggi dari sebelumnya.
2. Perlunya perbaikan pada alat pirolisis agar bahan bakar cair yang dihasilkan lebih maksimal.
3. Disarankan agar memaksimalkan produksi fraksi ringan dari bahan bakar cair hasil pirolisis yang dihasilkan.
4. Disarankan agar dapat dihasilkan bahan bakar cair yang sesuai dengan standar *Engineers Edge* menggunakan biomassa lain selain sekam padi bebas silika dan dapat diaplikasikan secara langsung dalam alat transportasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguado, J. 2007. Feedstock Recycling of Polyethylene in a Two Step Thermocatalytic Reaction System. *Journal Application Pyrolysis*. Vol. 79: 415–423.
- Ahmadhani, M. Y. 2018. Pengolahan *Crude Palm Oil* (CPO) Parit Menjadi *Liquid Fuel* Dengan Metode Pirolisis Menggunakan Zeolit Sintetik Berbasis Silika Sekam Padi. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 102 hlm.
- Alfaruqi, M. H. 2008. Pengaruh Konsentrasi Hidrogen Klorida (HCl) dan Temperatur Perlakuan Hidrotermal Terhadap Kristalinitas Material Mesopori Silika SBA-15. (Skripsi). Universitas Indonesia. Jakarta. 85 hlm.
- Amilius, Z., K. H. Sudjono, dan N. Rusnaeni. 1999. Aplikasi *X-Ray Diffraction* dan *Scanning Electron Microscope* untuk Analisis Bahan. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia PUSLITBANG Fisika Terapan. Bandung.
- Anita, R. J. 2018. Pengolahan Campuran Bagas Tebu dan Minyak Biji Karet Menjadi Bahan Bakar Cair (*Liquid Fuel*) Dengan Metode Pirolisis Menggunakan Zeolit-A Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 109 hlm.
- Anshari, M. A. dan O. Damayanti . 2012. Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Dengan Katalis Padat Berpromotor Ganda Dalam Reaktor Fixed Bed. *Jurnal Teknik POMITS*. ITS. Vol. 1(1): 1-4
- Anthony, R. 2001. *Basic Solid State Chemistry 2nd Edition*. John Wiley and Sons. London. 480 pp.
- Antono, A. W. 2018. Pengolahan Minyak Kelapa Sawit *Liquid Fuel* Dengan Metode Pirolisis Menggunakan Zeolit Sintetik Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 108 hlm.
- Aristiani, V. 2016. Preparasi Katalis CaO/SiO₂ dari CaCO₃ dan Silika Sekam Padi dengan Metode Sol Gel Untuk Pengolahan Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung. 62 hlm.

- Arnata, I. W. dan D. Anggraeni. 2013. Rekayasa Bioproses Produksi Bioetanol dari Ubi Kayu dengan Teknik Ko-Kultur Ragi Tape dan *Saccaromycess Cerevisiae*. *Jurnal Agrotek*. Vol. 7: 21-28.
- Auerbach, S. M., K. A. Carrado, and P. K. Dutta. 2013. *Handbook of Zeolite Science and Technology*. 1st Edn. M. Dekker. New York. USA. ISBN-10:0824740203. 1184 pp.
- Austin, G. T. and E. Jasjfi. 1996. *Industri Proses Kimia Edisi Kelima*. Erlangga. Jakarta. 375 hlm.
- Azizi, S. N., A. R. S. Maybodi, and M. Yarmohammadi. 2012. Synthesis of NaA Zeolite Using PTMAOH (phenyltrimethylammoniumhydroxide): Hydrothermal and Microwave Heating Methods and Comparison of Their XRD Patterns. *Journal of Inorganic Chemistry*. (2): 1-5.
- Ayyad, O. D. 2011 . Novel Strategies The Synthesis of Metal Nanoparticle and Nanostructure. (Thesis). Univesitat de Barcelona. Spain. 233 pp.
- Babu, B. V. and A. S. Chaurasia. 2004. Pyrolysis of Biomass: Improved Models for Simultaneous Kinetics and Transport of Heat, Mass, and Momentum. *Journal Energy Conversion and Management*. Vol. 45: 1297-1327.
- Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi. 2018. *Konsumsi BBM Nasional Per Tahun*. <https://www.bphmigas.go.id/konsumsi-bbm-nasional>. Diakses pada 1 Januari 2019.
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2018*. Badan Pusat Statistik Indonesia. Jakarta. 12 hlm.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2017*. Badan Pusat Statistik Indonesia. Jakarta. 12 hlm.
- Bajili. 2014. Karakterisasi Mineral pada Batuan Granit di Sekitar Gunung Merapi Daerah Sumatera Barat Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD). *Pillar of Physics*. Vol. 1: 1-8.
- Basu, P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. Academic Press. United Kingdom. 365 pp.
- Beiser, A. 1997. *Fisika Modern Edisi Keempat*. Erlangga. Jakarta. 532 hlm.
- Cahyono, M. S. 2013. Pengaruh Jenis Bahan Pada Proses Pirolisis Sampah Organik Menjadi Bio-Oil Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. Vol. 5(2): 67-76.

- Cheng, Y., L. Wang, J. Li, Y. Yang, and X. Sun. 2005. Preparation and Characterization of Nanosized ZSM-5 Zeolite in The Absence of Organic Template. *Materials Letters*. Vol. 59: 3427-3430.
- Chiaramonti, D., M. Bonini, E. Fratini, G. Tondi, K. Gartner, A. V. Bridgwater., H. P. Grimm, I. Soldaini, A. Webster, and P. Baglioni. 2003. Development of Emulsions from Biomass Pyrolysis Liquid and Diesel and Their Use in Engines. *Biomass Bioenergy*. Vol. 25: 101–111.
- Chhiti, Y. and M. Kemiha. 2013. Thermal Conversion of Biomass, Pyrolysis and Gasification. *The International Journal of Engineering and Science*. Vol. 2: 75-85.
- 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*. Vol. 87: 1031–1041.
- Daifullah, A. A. M., B. S. Girgis, and H. M. H. Gad. 2003. Utilization of Agro residues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans. *Materials Letters*. No.57: 1723–1731.
- Darmadji, P., Supriadi, dan C. Hidayat. 1999. Produksi Asap Rempah Cair dan Limbah Padat Rempah dengan Pirolisa. *Agritech*. Vol. 16: 19-22.
- Demirbas, A. 2000. Conversion of Biomass Using Glycerine to Liquid Fuel for Blending Gasoline as Alternative Engine Fuel. *Energy Conversion and Management*. Vol. 41: 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*. Vol. 43: 1801-1809.
- Demirbas, A. 2004. Current Technologies for The Thermo-Conversion of Biomass Into Fuels And Chemicals. *Energy Source Part A*. Vol. 26: 715–730.
- Dyah, P. S. 2011. Produksi Biodiesel dari Mikroalga *Chlorella sp* dengan Metode Esterifikasi In-Situ. (Tesis). Universitas Diponegoro. Jawa Tengah. 45 hlm.
- Engineers Edge. 2019. *Fluid Characteristics Chart Table*. Engineers Edge. Georgia.
- 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. 78 hlm.

- Fatimah, I. dan W. Karna. 2005. Sintesis TiO_2 /Zeolit Sebagai Fotokatalis pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Secara Adsorpsi-Fotodegradasi. *TEKNOIN*. Vol. 10(4): 257-267.
- Georgiev, D., B. Bogdanov, K. Angelova, I. Markovska, and Y. Hristov. 2009. Synthetic Zeolites-Structure, Clasification, Current Trends in Zeolite Synthesis Review. *Technical Studies*. Vol. 7: 1-5.
- Gougazeh, M. and J. C. Buhl. 2014. Synthesis and Characterization of Zeolite A by Hydrothermal Transformation of Natural Jordanian Kaolin. *Journal of The Association of Arab Universities for Basic and Apllied Sciences*. (15): 35-42.
- Hamdan, H., M. N. Muhid, S. Endud, E. Listioine, and Z. Ramli. 1997. ^{29}Si MAS, NMR, XRD, and FESEM Studies of Rice Husk Silica for Synthesis Zeolit. *Journal Non Crystal Solids*. (211): 126 – 131.
- Hananto, F. S., D. R. Santoso, and Julius. 2011. Application of Piezoelectric Material Film PVDF (Polyvenylidene Flouride) as Liquid Viscosity Sensor. *Journal of Neutrino*. Vol. 3(2): 129-142.
- Handayani, P. A., N. Eko, dan D. P. R. Warah. 2014. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. Vol. 3: 20-21.
- Handoko, D. S. P. 2002. Preparasi Katalis Cr/zeolit Melalui Modifikasi Zeolit Alam. *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol. 3(1): 15-23.
- Hardjono, S. 1990. *Spektroskopi Inframerah*. Liberti. Yogyakarta. 146 hlm.
- Hartanto, F. P. 2012. *Optimasi Kondisi Operasi Pirolisis Sekam Padi Untuk Menghasilkan Bahan Bakar Briket Bioarang Sebagai Bahan Bakar Alternatif*. Teknik Kimia. Universitas Diponegoro. Semarang. 1-10.
- Haryono, W. 2016. Studi Eksperimental Pirolisis Lambat Batubara dan Platsik Low Density Polyethylene dengan Katalis Zeolit Alam. (Tugas Akhir). Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta. 52 hlm.
- Herlina, L. 2017. Sintesis Zeolit 4A dari Ekstrak Silika Sekam Padi dan Studi Sifat Adsorpsinya Terhadap Air dan Etanol pada Bioetanol. (Tesis). Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati. Bandung. 62 hlm.
- Heyerdahl, P. H. and G. Geoffrey. 2006. *Distributed Biomass Conversion*. Norwegian University. Oslo. 298 pp.
- Humz. 2017. Synthesis of Phase-Pure Zeolite Sodalite from Clear Solution Extracted from Coal Fly Ash. *Journal of Thermodynamics and Catalysis*. Vol. 8(2): 1-6.

- Husnain. 2010. Mengenal Silika Sebagai Unsur Hara. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Indonesia*. Indonesia. Vol. 32(3): 19-20.
- Hutama, A., S. Nugraha, H. N. Arifin, dan G. A. Dini. 2011. Bahan Bakar Nabati. *Tugas Akhir*. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung. 72 hlm.
- Idris, F. 2006. Pengembangan Industri Biodiesel di Indonesia. *Prosiding Simposium Biodiesel Indonesia*. Jakarta. 35-45.
- Ismail, A. A., R. M. Mohamed, I. A. Ibrahim, G. Kini, and B. Koopman. 2010. Synthesis, Optimization and Characterization of Zeolite A and Its Ion-Exchange Properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochem*. 80-87.
- Jawad A. B. 2010. Current State and Potential for Increasing Plastics Recycling in The U.S. (Thesis). Columbia University. Columbia. 66 pp.
- Kalaphathy, U., A. Proctor, and J. Shultz. 2000. A Simple Methode for Production of PureSilika from Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*. Vol. 73: 257-262.
- Kamarudin, K. S. N, H. Mata, dan H. Hamdan. 2003. *Structural Synthesis And Modification Of Zeolite As Methane Adsorbent*. Universitas Teknologi Malaysia. Malaysia. 1-6.
- Kroschwitz, J. 1990. *Polymer Characterization and Analysis*. John Wiley and Sons Inc. Canada. 198 pp.
- Lubis, R. U. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Pertumbuhan Nanopartikel ZnO dengan Metode Sol-Gel. (Tesis). Universitas Negeri Medan. Medan. 61 hlm.
- Luh, B. S. 1991. *Rice Utilization Second Edition*. Van Nostrand Reinhold. USA. 814 pp.
- Meliyana, L. 2015. Preparasi Katalis CaO/SiO₂dari CaCO₃ dan Silika Sekam Padi dengan Metode Sol Gel Untuk Pengolahan Minyak Nabati Menjadi Biodiesel. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung. 74 hlm.
- Mozgawa, W., M. Krol, and K. Barczyk. 2011. FT-IR Studies Zeolites from Different Structural Groups. *CHEMIK*. Vol. 7: 671-674.
- Nasrun, K. Eddy, dan S. Inggit. 2015. Pengolahan Limbah Kantong Plastik Jenis Kresek Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurnal Energi Elektrik*. Vol. 4(1): 1-5.
- Nuryono, Narsito, dan Sutarno. 2004. Kajian Penggunaan NaOH dan Na₂CO₃ pada Pembuatan Silika Gel dari Abu Sekam Padi. *Prosiding Semnas Penelitian Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Jakarta. 281-291.

- Nyankson, E., K. E. Johnson, Y. Abu, M. Gloria, A. Kingsford, D. Joseph, and Y. A. Richard. 2018. Synthesis and Characterisation of Zeolite-A and Zn-Exchanged Zeolite-A Based on Natural Aluminosilicates and Their Potential Applications. *Cogent Engineering*. Vol. 5: 3-5.
- Oster. 2015. *Chemical Composition Limits of Aluminium Purity Grades and Alloys*. A. J. Oster. America.
- Padil, S. dan A. Amir. 2010. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Melalui Reaksi Metanolisis Menggunakan Katalis CaCO_3 yang dipijarkan. *Nature Indonesia*. Vol 13(1): 27-32.
- Pandiangan, K. D., S. Arief, N. Jamarun, and W. Simanjuntak. 2017. Synthesis of Zeolite-X from Rice Husk Silica and Aluminum Metal as a Catalyst for Transesterification of Palm Oil. *Journal of Materials and Environmental Sciences*. Vol. 8(5): 1797-1802.
- Platon, A. and J. W. Thomson. 2003. Quantitative Lewis/ Bronsted Ratios using DRIFTS. *Applied Catalysis Industrial Engineering Chemistry Research*. Vol. 42: 5988-5992.
- Prastyo, S. H., Y. Y. Margaretha, A. Ayucitra, dan S. Ismadji. 2011. Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dengan Menggunakan Katalis Padat dari Cangkang Keong Emas (*Pomacea sp.*). *ITS-Paper Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*. Surabaya.
- Pratiwi, E. 2015. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Buah Ketapang dengan Metode Reactive Extrction. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung. 60 hlm
- Prihandana, R., N. Kartika, G. Praptiningsih, Adinurani, S. Dwi, S. Sigit, dan H. Roy. 2007. *Bioetanol Ubi Kayu Bahan Bakar Masa Depan*. Penebar Swadaya. Jakarta. 1-20.
- Putri, S. K, Supranto, dan R. Sudiyo . 2012. Studi Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa (*Coconut Oil*) dengan Bantuan Gel Ultrasonik. *Rekayasa Proses*. Vol. 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. 9-28.
- Ridhuan, K. dan S. Joko. 2016. Perbandingan Pembakaran Pirolisis dan Karbonisasi pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalor. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro*. Vol. 5(1): 50-56.

- Ristianingsih, Y., N. Anggraeni, dan A. Fitriani. 2014. Pengaruh Komposisi Sekam Padi dan Ampas Tebu Terhadap Karakteristik Kertas dengan Proses Soda. *Konversi*. Vol. 3(2): 15-19.
- Sa'diah, H. 2009. Pengaruh Proses Pengepresan (*Screw Press*) Terhadap Presentase Kehilangan Minyak Kelapa Sawit yang Terdapat pada Ampas *Press* di PT. Socfin Indonesia Kebun Aek Loba. (Skripsi). Universitas Sumatera Utara. Medan. 30 hlm.
- Samsuri, M., M. Gozan, R. Mardias., M. Baiquni., H. Hermansyah, dan A. Wijanarko. 2007. Pemanfaatan Selulosa Bagas Tebu untuk Produksi Etanol Melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak dengan Enzim Xylanase. *Makara Teknologi*. Vol. 11(1): 17-24.
- Sastrohamidjojo, H. 2005. *Kromatografi*. Liberty. Yogyakarta. 129 hlm.
- Satria, Y. A. 2017. Studi Pirolisis Minyak Biji Jarak Kaliki Menggunakan Prekursor Zeolit Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 97 hlm.
- Schmidt, P. Arthur, and B. J. Richar. 2003. *Advanced Mechanics of Materials*. Jhon Wiley and Son. USA. 493 pp.
- Selim, M. M., M. E. Doaa, M. M. A. Reham, A. S. A. Sohair, and M. M. Ghada. 2017. Preparation and Characterization of Na-A Zeolite from Aluminum Scrub and Commercial Sodium Silicate for The Removal of Cd²⁺ From Water. *Journal of The Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*. Vol. 24: 19-25.
- Sembiring, S. dan K. Pulung. 2007. Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Termal dan Mikrostruktur Silika Sekam Padi. *Jurnal Sains MIPA*. Vol. 13(3):233-239.
- Septyaningsih, D. 2010. Isolasi dan Identifikasi Komponen Utama Ekstrak Biji Buah Merah (*Pandanus conoideus* Lamk.). (Skripsi). Universitas Sebelas Maret. Surakarta. 43 hlm.
- Shriver, D. F. and P. W. Atkins. 2006. *Inorganic Chemistry 4th edition*. Oxford University Press. USA. 189-190.
- Simangunson, G. M. 2015. Penentuan Komponen Propolis Dengan Metode *Gas Chromatography - Mass Spektrometry* (GC-MS). (Skripsi). Universitas Sumatera Utara. Medan. 64 hlm.
- Simanjuntak, W., S. Sembiring, and K. Sebayang. 2012. Effect of Pyrolysis Temperatures on Composition and Electrical Conductivity of Carbosil Prepared from Rice Husk. *Indonesia Journal Chemistry*. Vol. 12(2): 119-125.

- Simanjuntak, W., S. Sembiring, P. Manurung, R. Situmeang, and I. M. Low. 2013. Characteristics of Aluminosilicates Prepared From Rice Husk Silica and Aluminum Metal. *Ceramics International*. Vol. 1: 1-7.
- Simanjuntak, W., S. Sembiring, K. D. Pandiangan, F. Syani, and R. T. Situmeang. 2016. The Use of Liquid Smoke as a Substitute for Nitric Acid for Extraction of Amorphous Silica from Rice Husk through Sol-Gel Route. *Oriental Journal of Chemistry*. Vol. 32(4): 2079-2085.
- Simanjuntak, W., K. D. Pandiangan, Z. Sembiring, and A. Simanjuntak. 2019. Liquid Fuel Production by Zeolite-A Catalyzed Pyrolysis of Mixed Cassava Solid Waste and Rubber Seed Oil. *Oriental Journal of Chemistry*. Vol. 35(1): 71-76.
- Stevens, M. P. 2001. *Kimia Polimer*. Pradnya Paramita. Jakarta. 33-35.
- Sujatno, A., S. Rohmad, Bandriyana, dan D. Arbi. 2015. Studi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*. Vol. 9(2): 44-50.
- Susanti, L. 2015. Pengembangan Zeolit Sintetik Berbasis Silika Sekam Padi Secara Elektrokimia Sebagai Katalis Untuk Pengolahan Minyak Nabati Menjadi Biodiesel. (Tesis). Universitas Lampung. Lampung. 110 hlm.
- Treacy, M. M. J. and J. B. Higgins. 2001. *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolite*. Elsevier Science Publisher B. V. New York. 586 pp.
- Venderbosch, R. H. and W. Prins. 2010. Review: Fast Pyrolysis Technology Development. *Biofuel*. Vol. 4: 178–208.
- Vicente, G., M. Martinez, and J. Aracil. 2007. Optimisation of Integrated Biodiesel Production. Part : A Study of The Biodiesel Purity and Yield. *Bioresource Technology*. (98): 1724–1733.
- Visiamah, F. 2016. Studi Hidrolisis Umbi Talas Beneng Untuk Menghasilkan Gula Reduksi Sebagai Bahan Baku Bioetanol. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung. 63 hlm.
- Wang, T., Q. Zhang, M. Ding, C. Wang, Y. Li, Q. Zhang, and L. Ma. 2017. Bio-Gasoline Production by Coupling of Biomass Catalytic Pyrolysis and Oligomerization Process. *Energy Procedia*. Vol. 105: 858-863.
- Wardan, S. dan A. Zainal. 2003. *Bahan Bakar dan Pelumas*. Fakultas Teknik UNY. Yogyakarta. 56 hlm.
- Weitkamp, J. and L. Puppe. 2013. *Catalysis and Zeolites: Fundamentals and Applications*. Springer Science and Business Media. 538 pp.

- Wijayanti, W. dan N. S. Mega. 2012. Reduksi Volume dan Pengurangan Kotoran Sapi dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 3(3): 404-410.
- Wijayanti, W., N. S. Mega, M. Christia, dan Y. Lilis. 2013. Metode Pirolisis Untuk Penanganan Sampah Perkotaan Sebagai Penghasil Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 4(2): 85-92.
- Yizhou, H., B. Rongxian, dan T. Yisheng. 2004. Study on The Carbon Dioxide Hydrogenation to Iso-Alkanes Over Fe-Zn-M/Zeolite Composite Catalyst. *Fuel Process Technol.* Vol. 86: 293-301.
- Yusmaniar, S. B. 2007. Pengaruh Suhu Pemanasan pada Sintesis Silika dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 115-117.