

**PENGARUH SUHU KALSINASI ZEOLIT-X
TERHADAP KARAKTERISTIK *LIQUID FUEL*
HASIL PIROLISIS MINYAK KELAPA SAWIT**

(Skripsi)

Oleh

YOSEFIN TIURMA R. TAMPUBOLON



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

PENGARUH SUHU KALSINASI ZEOLIT-X TERHADAP KARAKTERISTIK *LIQUID FUEL* HASIL PIROLISIS MINYAK KELAPA SAWIT

Oleh

YOSEFIN TIURMA R. TAMPUBOLON

Dalam penelitian ini telah dilakukan pengolahan minyak kelapa sawit menjadi *liquid fuel* sebagai bahan bakar alternatif dengan metode pirolisis menggunakan katalis zeolit-X, dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh suhu kalsinasi zeolit-X terhadap karakteristik *liquid fuel*. Zeolit-X diperoleh melalui sintesis silika sekam padi dan aluminium foil *food grade* dengan metode sol-gel dan hidrotermal pada suhu 100 °C selama 96 jam, kemudian dikalsinasi pada suhu yang berbeda, yakni 550, 650, 750, dan 850 °C selama 6 jam. Zeolit-X hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM yang menunjukkan bahwa zeolit-X berhasil disintesis dan suhu kalsinasi 550 °C merupakan kondisi terbaik. Selanjutnya, dilakukan uji aktivitas katalitik zeolit-X dalam proses pirolisis dengan minyak kelapa sawit.

Proses pirolisis dilakukan dengan komposisi minyak kelapa sawit dan katalis zeolit-X masing-masing variasi suhu kalsinasi, yakni 20 : 1 (v/m). Produk pirolisis (*liquid fuel*) kemudian dianalisis menggunakan GC-MS. Hasil analisis GC-MS menunjukkan bahwa hidrokarbon merupakan komponen utama *liquid fuel* dengan persentase relatif 76-87 %. Komponen lain yang terkandung dalam *liquid fuel* yaitu asam karboksilat (10-19%), keton (0,6-1,7%), dan alkohol (1,4-2,0). *Liquid fuel* hasil pirolisis minyak kelapa sawit dengan katalis zeolit-X suhu kalsinasi 850 °C mengandung hidrokarbon tertinggi, yaitu 87,91% dan mengandung fraksi *gasoline* tertinggi, yaitu 54,27%.

Kata kunci: *liquid fuel*, minyak kelapa sawit, pirolisis, silika sekam padi, zeolit-X

ABSTRACT

THE EFFECT OF ZEOLITE-X CALCINATION TEMPERATURES ON THE CHARACTERISTICS OF LIQUID FUEL PRODUCED BY PYROLYSIS OF PALM OIL

By

YOSEFIN TIURMA R. TAMPUBOLON

In this research, palm oil processing has been carried out into liquid fuel as an alternative fuel by pyrolysis method using zeolite-X as the catalyst. Zeolite-X was obtained through silica synthesis of rice husk and food-grade aluminum foil by sol-gel and hydrothermal method at 100 °C for 96 hours, then calcined at different temperatures, 550, 650, 750, and 850 °C for 6 hours. The various synthesized zeolite-X was then characterized using both XRD and SEM instruments. The characterization proved that zeolite-X calcined at 550°C was the best result. Furthermore, the zeolite-X obtained is used on the pyrolysis of palm oil.

The pyrolysis of palm oil is examined with the various calcined zeolite-X catalysts to palm oil of 20: 1 (v/m). The liquid fuel produced was analyzed using GC-MS. The results of the GC-MS analysis showed that the main component of liquid fuel is a hydrocarbon containing 76-87%. Other components detected in the liquid fuel are carboxylic acids (10-19%), ketones (0.6-1.7%), and alcohol (1.4-2.0%). Liquid fuel produced by pyrolysis using a zeolite-X catalyst calcined at 850 °C has the highest fraction of the hydrocarbon and gasoline 87.91, 54.27%, respectively.

Keywords: liquid fuel, palm oil, pyrolysis, rice husk silica, zeolite-X

**PENGARUH SUHU KALSINASI ZEOLIT-X
TERHADAP KARAKTERISTIK *LIQUID FUEL*
HASIL PIROLISIS MINYAK KELAPA SAWIT**

Oleh

Yosefin Tiurma R. Tampubolon

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul Penelitian : **PENGARUH SUHU KALSINASI ZEOLIT-X
TERHADAP KARAKTERISTIK *LIQUID FUEL*
HASIL PIROLISIS MINYAK KELAPA SAWIT**

Nama Mahasiswa : **Yosefin Turma R. Tampubolon**


Nomor Pokok Mahasiswa : **1617011045**

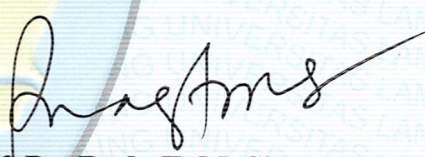
Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

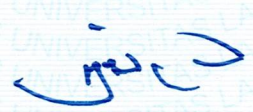


1. Komisi Pembimbing


Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D
NIP. 195907061988111001


Prof. Dr. Rudy T. M. Situmeang
NIP. 19600616 1988111001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila


Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

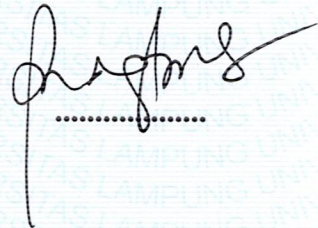
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

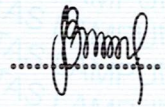
Ketua : **Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.**



Sekretaris : **Prof. Dr. Rudy T. M. Situmeang**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Satripto Dwi Yuwono, S.Si., M. T.
NIP. 19740705 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **15 Oktober 2021**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yosefin Tiurma R. Tampubolon
Nomor Pokok Mahasiswa : 1617011045
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul “Pengaruh Suhu Kalsinasi Zeolit-X Terhadap Karakteristik *Liquid Fuel* Hasil Pirolisis Minyak Kelapa Sawit” adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenarnya untuk digunakan sebagai mestinya.

Bandar Lampung, 01 November 2021



Yosefin Tampubolon
NPM. 1617011045

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Yosefin Tiurma R. Tampubolon, lahir di Pematangsiantar, Sumatera Utara pada tanggal 22 April 1998 merupakan anak ketiga dari empat bersaudara, putri dari Bapak Robert Tampubolon dan Ibu Elfrida Mei Hutabarat. Penulis mengawali pendidikan formal di TK Kristen Kalam Kudus Pematangsiantar dan selesai pada tahun 2004.

Pada tahun yang sama melanjutkan pendidikan Sekolah Dasar di SD Kristen Kalam Kudus Pematangsiantar, dan menyelesaikan studi pada tahun 2010, lalu melanjutkan pendidikan tingkat menengah pertama di SMP RK Bintang Timur Pematangsiantar, dan lulus pada tahun 2013. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMA Kristen Kalam Kudus Pematangsiantar dan menyelesaikannya pada tahun 2016. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Aktivitas organisasi penulis dimulai sejak menjadi Pengurus di Persekutuan Oikumene Mahasiswa MIPA (POMMIPA) Unila sebagai anggota Sie Persekutuan umum pada tahun 2017-2018. Penulis juga pernah menjadi anggota Bidang Sosial dan Masyarakat (Sosmas) Himaki FMIPA Unila tahun 2018-2019. Selain itu penulis juga pernah menjadi Koordinator Umum di Kepengurusan Persekutuan Oikumene Mahasiswa MIPA (POMMIPA) Unila pada tahun 2019-2020.

Kemudian penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Kimia Fisik Jurusan Kimia FMIPA Unila selama 2 semester pada tahun 2019/2020 semester Ganjil dan Genap. Penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan pada tahun 2020 yang berjudul “Ekstraksi Silika Sekam Padi Dengan Ekstrak Buah Belimbing dan

Pemanfaatannya Untuk Sintesis Zeolit-X” di Laboratorium Kimia Fisik/Anorganik FMIPA Universitas Lampung. Penulis pernah berpartisipasi sebagai presenter oral dalam kegiatan Seminar Nasional Bersama FMIPA Tahun 2021 yang diselenggarakan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung pada tanggal 08 - 09 September 2021 dengan judul “Pengaruh Suhu Kalsinasi Zeolit-X Terhadap Karakteristik *Liquid Fuel* Hasil Pirolisis Minyak Kelapa Sawit.”

PERSEMBAHAN

**Salam Sejahtera dan Damai Kasih dalam Tuhan Yesus Kristus.
Puji syukur kepada Tuhan yang senantiasa melimpahkan berkat Kasih-Nya
dalam setiap langkah perjalanan hidup dan studiku. Dengan segala
kerendahan hati kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti, dan
tanggung jawabku kepada :**

Yosefin Tiurma Rotua Tampubolon
(Diriku sendiri)

Bapak dan Mama, yang selalu menjadi sumber semangat dan motivasi utama
selama ini dalam pelaksanaan karya ini, dan yang selalu memberikan doa serta
bantuan selama ini

Abang Yohannes, Kak Yolanda, dan Adik Yonatan

Rasa hormat saya kepada:

Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.
Bapak Prof. Dr. Rudy T. M. Situmeang
Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.

Sahabat, kerabat dan teman-teman yang terkasih

Dan Almamater tercinta

MOTTO

Whatever you do, work at it with all your heart, as working for the Lord,
not for human masters.

(Colossians 3:23)

You are the salt of the earth. But if the salt loses its saltiness, how can it be
made salty again? It is no longer good for anything, except to be thrown
out and trampled by men.

(Matthew 5:13)

I can do all this through Him who gives me strength.

(Philippians 4:13)

And we know that all things work together for good for those who love
God, who are called according to His purpose.

(Romans 8:28)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yesus yang telah melimpahkan kasih, kesetiaan, kekeuatan dan kemampuan, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “Pengaruh Suhu Kalsinasi Zeolit-X Terhadap Karakteristik *Liquid Fuel* Hasil Pirolisis Minyak Kelapa Sawit” adalah salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains pada Prodi Kimia FMIPA, Universitas Lampung. Pada penulisan skripsi ini, tidak sedikit kendala yang dihadapi oleh penulis dan telah banyak bantuan, dukungan, serta bimbingan dari banyak pihak.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Yosefin Tiurma Rotua Tampubolon (diriku sendiri) yang sudah berjuang dan bertahan untuk menyelesaikan pendidikan di Universitas Lampung.
2. My Everything: Bapak, Mama, Abang Yohannes, Kak Yolanda, dan Adik Yonatan atas segala dukungan, dan senantiasa menjadi pendoa yang setia yang tak hentinya mendoakan untuk kelancaran dan keberhasilan penulis dalam menyelesaikan studi ini.
3. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D., selaku pembimbing utama penelitian, guru, dan teladan bagi penulis, yang telah banyak membantu memberikan motivasi, dukungan, bimbingan, bantuan, nasihat, dan saran dengan penuh kesabaran dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Rudy T. M. Situmeang, M.Sc., selaku pembimbing kedua dan guru bagi penulis, terima kasih atas kesabaran dalam membimbing,

memberi saran dan nasihat kepada penulis dalam penyelesaian penelitian dan penulisan skripsi ini.

5. Ibu Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si., selaku pembahas dan guru bagi penulis, terima kasih atas semua masukan, bimbingan, dan saran kepada penulis dalam penyelesaian penelitian dan penulisan skripsi ini.
6. Prof. Suharso selaku Pembimbing Akademik atas bimbingannya selama ini kepada penulis.
7. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
8. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
9. Segenap staf dosen pengajar dan karyawan khususnya Jurusan Kimia dan FMIPA Universitas Lampung.
10. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah mendanai kegiatan ini melalui skema Penelitian Dasar.
11. Partner penelitian khususnya Ruliani, dan Yan Sihombing, yang telah membantu penulis dari awal penelitian hingga selesai.
12. Kak Agus, Mba Gesa, Mba Diska, Mba Faul, Mba Putri, Mba Dira, Kak Gilang, dan teman-teman laboratorium polimer, Davincent, Andreas, Mba Tika, Erma, Eva, Syayy, Oca, Charlita, Chori, Jere, Kadek yang telah membantu dan mendukung penulis selama penelitian.
13. Nikhen, Dahliani, Gita, Silvi, Nafas, Ola, Arga, Hanny, Leo, dan Tobi yang sudah saling memberi semangat serta doa kepada penulis.
14. Putri Sihombing, Juwita Ria, dan Mona my 911.
15. Adik-adik kelompok kecil, Aprilia, Inka, Rika, Grace yang memberikan semangat dan doa.
16. Kak Meli, Kak Rere, Kak Cynthia, dan Kak Lusy Tampubolon yang sudah mau menjadi kakak yang baik dan yang saling memberikan dukungan serta doa selama penulis berkuliah di Universitas Lampung

17. Kakak-kakak, Abang-abang, Teman-teman, dan Adik-adik POM-MIPA yang telah memberikan dukungan, semangat, dan kebersamaan, khususnya teman-teman Pengurus POM-MIPA tahun 2017/2018, 2018/2019, 2019/2020.
18. Teman-teman KF 2016, Kimia angkatan 2016, dan Teman-teman KKN yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terima kasih untuk persaudaraan dan kebersamaan selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Lampung.
19. Dan semua pihak lain yang telah membantu penulis selama perkuliahan, penelitian, hingga penulisan skripsi ini.

Atas segala kebaikan, dukungan, nasihat dan doa orang-orang terkasih dan terdekat kiranya Tuhan Yang Maha Pengasih yang membalaskannya dengan berkat dan kebahagiaan yang berlimpah. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat rekan-rekan terkhusus mahasiswa kimia dan pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 01 November 2021

Penulis

Yosefin Tiurma R. Tampubolon

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	5
1.3. Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Bahan Bakar Cair Terbarukan	6
2.2. Pirolisis.....	7
2.3. Katalis.....	8
2.4. Zeolit	9
2.4.1. Zeolit Alam	10
2.4.2. Zeolit Sintetik.....	10
2.4.3. Zeolit-X.....	12
2.5. Karakterisasi Zeolit-X	15
2.5.1. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	15
2.5.2. <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	17
2.6. Bahan Baku Bahan Bakar Cair	18
2.6.1. Minyak Kelapa Sawit	19
2.7. Analisis <i>Liquid Fuel</i>	20
2.7.1. Analisis Komposisi <i>Liquid Fuel</i> dengan <i>Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	20
2.7.2. Densitas.....	21
2.7.3. Viskositas	21
2.7.4. Titik Nyala (<i>Flash Point</i>).....	22

III. METODE PENELITIAN.....	23
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2. Alat dan Bahan	23
3.2.1 Alat-alat yang digunakan	23
3.2.2. Bahan-bahan yang digunakan	24
3.3. Prosedur Kerja	24
3.3.1. Preparasi Sekam Padi.....	24
3.3.2. Ekstraksi Silika dari Sekam Padi	24
3.3.3. Sintesis Zeolit-X	25
3.3.4. Karakterisasi Zeolit-X.....	26
3.3.5. Percobaan Pirolisis	27
3.3.6. Analisis <i>Liquid Fuel</i>	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1. Pengantar	30
4.2. Preparasi Sekam Padi	30
4.3. Ekstraksi Silika dari Sekam Padi.....	31
4.4. Sintesis Zeolit-X.....	33
4.5. Karakterisasi Zeolit-X	35
4.5.1. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	35
4.5.2. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	39
4.6. Percobaan Pirolisis	41
4.7. Karakterisasi <i>Liquid Fuel</i>	43
4.7.1. <i>Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)</i>	43
4.8. Uji Fisik <i>Liquid Fuel</i>	54
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	56
5.1. Simpulan.....	56
5.2. Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN.....	65
1. Data hasil ekstraksi silika sekam padi	66
2. Massa zeolit-X pada suhu yang berbeda sebelum dan sesudah kalsinasi	66
3. Minyak kelapa sawit yang digunakan	66
4. Perbandingan data fase air dan fase organik dari <i>liquid fuel</i>	67
5. Perhitungan densitas	67
6. Data perhitungan viskositas.....	67
7. SNI 7431 : 2015	68
8. Kondisi Pengukuran alat <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	68
9. Kondisi Pengukuran alat <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	69
10. Kondisi Pengukuran alat <i>Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)</i>	69

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi beberapa asam lemak dalam tiga jenis minyak nabati	19
2. Perbandingan data puncak difraksi zeolit-X	38
3. Keterangan kromatogram GC minyak kelapa sawit tanpa katalis	45
4. Keterangan kromatogram GC campuran minyak kelapa sawit dengan katalis zeolit-X 550 °C.....	46
5. Keterangan kromatogram GC campuran minyak kelapa sawit dengan katalis zeolit-X 650 °C.....	47
6. Keterangan kromatogram GC campuran minyak kelapa sawit dengan katalis zeolit-X 750 °C.....	48
7. Keterangan kromatogram GC campuran minyak kelapa sawit dengan katalis zeolit-X 850 °C.....	49
8. Komposisi %relatif <i>liquid fuel</i> yang dihasilkan dengan katalis zeolit-X yang dikalsinasi dengan suhu yang berbeda.....	50
9. Jumlah relatif <i>liquid fuel</i> yang dihasilkan dengan katalis zeolit-X yang dikalsinasi dengan suhu yang berbeda.....	52
10. Komposisi <i>Gasoline</i> dan <i>Kerosene</i> dalam <i>liquid fuel</i>	52
11. Karakteristik fisik <i>liquid fuel</i> campuran minyak kelapa sawit dengan zeolit-X 850°C.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tetrahedral alumina dan silikat pada struktur zeolit.....	9
2. Struktur kimia zeolit.	10
3. Skema pembentukan zeolit secara umum.	11
4. Pola difraktogram sinar X.....	13
5. Unit Struktur zeolit X.....	13
6. Difraktogram sinar-X.....	15
7. Mikrograf zeolit-X.....	17
8. Sekam Padi Bersih.	31
9. Ekstraksi Silika Sekam Padi	32
10. Proses Sintesis Zeolit-X.....	33
11. Zeolit-X dengan variasi suhu kalsinasi :	34
12. Difraktogram zeolit-X.....	35
13. Difraktogram zeolit-X berdasarkan IZA.....	37
14. Difraktogram zeolit-A berdasarkan IZA.....	39
15. Bentuk morfologi zeolit-X.....	40
16. Hasil <i>liquid fuel</i>	42

17. Kromatogram olah GC <i>liquid fuel</i>	44
--	----

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di era saat ini, energi sudah menjadi kebutuhan primer masyarakat untuk mendukung kegiatan sehari-hari, mulai dari kegiatan rumah tangga, transportasi, hingga industri yang terus berkembang secara masif di seluruh dunia. Untuk memenuhi kebutuhan akan energi, sumber energi yang paling banyak dimanfaatkan hingga sekarang adalah bahan bakar fosil, baik batubara, produk olahan minyak bumi seperti *diesel* dan *gasoline*, serta gas alam. Masalah utama dengan bahan bakar fosil adalah bahwa sumber energi ini merupakan hasil proses alam yang berlangsung jutaan tahun, sehingga dinyatakan sebagai bahan bakar tidak terbarukan. Di sisi lain, laju penggunaan yang terus meningkat dengan pesat mengakibatkan jumlah bahan bakar fosil terus menipis. Penipisan cadangan bahan bakar fosil ini telah menimbulkan sejumlah masalah, antara lain semakin sulit untuk mendapatkannya karena membutuhkan teknologi yang semakin maju dan biaya produksi makin mahal, sehingga harga jualnya juga semakin mahal. Pada akhirnya, cadangan bahan bakar fosil di alam juga akan habis.

Masalah lain dengan bahan bakar fosil yang menjadi sorotan secara global adalah dampak lingkungan karena pemakaiannya. Dalam pembakaran bahan bakar fosil akan dihasilkan gas buangan yang dikenal sebagai gas rumah kaca, yakni CO_2 , NO_x , dan SO_x . Gas buangan tersebut merupakan penyebab utama pemanasan global yang berdampak pada terjadinya perubahan iklim berskala luas, seperti hujan asam, pemanasan global dan kemarau panjang.

Permasalahan yang dipaparkan di atas mengisyaratkan perlunya membatasi penggunaan bahan bakar fosil, dengan menggantinya dengan sumber energi alternatif yang dapat diperbarui sekaligus bersifat ramah lingkungan sebagai solusi ideal. Seiring dengan berkembangnya teknologi, terdapat tiga jenis bahan bakar cair terbarukan yang sudah dikenal, yakni bioetanol, *biodiesel*, dan bahan bakar cair hasil pirolisis biomassa. Berdasarkan jenis bahan bakar cair tersebut, bahan bakar cair hasil pirolisis terus mendapat perhatian karena beberapa alasan yang dianggap memiliki keuntungan dibandingkan bioetanol dan biodiesel. Kelebihan pertama adalah pembuatan bahan bakar cair hasil pirolisis tidak terbatas oleh bahan baku, karena bahan baku yang digunakan bersifat terbarukan. Kedua, bahan bakar cair yang digunakan ramah lingkungan (Shamsul *et al.*, 2017).

Metode yang dapat digunakan untuk menghasilkan bahan bakar cair adalah transesterifikasi, fermentasi, dan pirolisis. Namun, dalam penelitian ini hanya mengkaji metode pirolisis. Pirolisis adalah dekomposisi termokimia biomassa pada temperatur antara 400 dan 650 °C tanpa adanya O₂. Proses dekomposisi melepaskan spesies yang mudah menguap, sedangkan yang padat, yang tidak mudah menguap dikumpulkan sebagai *bio-char*. Sebagian dari fase volatil gas mengembun menjadi cairan hitam kental yang disebut *bio crude oil*. *Bio crude oil* dipelajari sehubungan dengan penggunaannya sebagai sumber daya untuk produk bahan bakar dan bahan kimia. Di samping itu, bahan bakar hasil pirolisis (*liquid fuel*) dapat dihasilkan dari biomassa, yang jumlahnya melimpah dan terdapat di seluruh dunia serta mudah diperbaharui.

Dalam penelitian ini, minyak kelapa sawit menjadi salah satu minyak nabati yang memiliki potensi terbesar di Indonesia sebagai bahan baku biomassa. Oleh karena keberadaannya yang melimpah dan tidak seluruhnya terserap oleh industri pangan, sehingga minyak kelapa sawit berpeluang untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi (Antono, 2018).

Pada prinsipnya, pirolisis dapat berlangsung dengan atau tanpa katalis, namun metode yang paling luas digunakan adalah dengan penggunaan katalis (Cwik, 2014). Penggunaan katalis dalam proses pirolisis dapat menurunkan suhu reaksi, mempercepat laju reaksi, dan menentukan komposisi *liquid fuel* yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Damayanthi dan Martini (2009) menunjukkan hasil pirolisis yang kurang baik tanpa penambahan katalis. Dalam hal ini maka dilakukan penambahan katalis yang diharapkan memberikan hasil yang lebih maksimal dalam proses pirolisis.

Katalis merupakan zat yang dapat mempercepat reaksi tanpa mengalami perubahan secara kimiawi pada akhir reaksi. Reaksi yang berlangsung dengan bantuan katalis secara umum dikenal dengan reaksi katalitik. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah katalis jenis heterogen, karena katalis ini juga lebih efektif dan efisien, mudah untuk digunakan dalam berbagai media, tidak korosif, relatif murah, dan dapat dengan mudah diaktifkan untuk mendapatkan sifat katalis yang diinginkan (Frenzer *et al.*, 2006; Endalew *et al.*, 2011).

Berbagai zat padat telah digunakan sebagai penyangga katalis heterogen, antara lain adalah alumina (Evangelista, *et al.*, 2012), zeolit (Wu *et al.*, 2012), dan silika (Pandiangan, 2013). Dalam penelitian sebelumnya, salah satu penyangga katalis yang telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi adalah zeolit. Kelebihan zeolit adalah memiliki luas permukaan dan keasaman yang mudah dimodifikasi karena merupakan kristal alumina silika tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga yang di dalamnya terisi oleh ion-ion logam.

Dalam penelitian ini menggunakan zeolit sintetik, yakni zeolit-X. Zeolit-X ini juga telah digunakan sebagai salah satu katalis untuk menghasilkan *biodiesel* melalui proses transesterifikasi minyak kelapa sawit yang disintesis dari silika sekam padi dan logam aluminium (Pandiangan *et al.*, 2017).

Zeolit-X memiliki kelebihan, seperti proses pemurnian dan pemisahan gas dan senyawa organik, dan memiliki kemampuan sebagai penukar ion yang baik sebagai adsorben untuk penyerapan kation logam (Ozdemir *et al.*, 2013). Pada penelitian ini, zeolit-X yang dihasilkan akan dikalsinasi masing-masing pada suhu 550, 650, 750, dan 850 °C dengan waktu selama 6 jam.

Pada penelitian ini, zeolit-X disintesis dari silika sekam padi dan aluminium foil *food grade*. Salah satu sumber silika yang ketersediaannya melimpah dan dapat diperbarui adalah sekam padi. Berdasarkan data BPS (2018) produksi padi di Lampung pada tahun 2018 mencapai 1.901.041 ton gabah kering giling (GKG). Simanjuntak *et al.* (2016) melaporkan bahwa sekam padi mengandung 18-20% silika dan memiliki kemurnian yang tinggi, yakni sekitar 95%. Silika sekam padi dapat diperoleh dengan sangat mudah dan biaya yang relatif murah, yakni dengan cara ekstraksi alkalis (Daifullah *et al.*, 2003).

Simanjuntak *et al.*, (2013) telah melakukan penelitian pembuatan aluminosilikat dari silika sekam padi dan logam aluminium. Namun dalam penelitian ini akan menggunakan aluminium foil *food grade* sebagai sumber aluminium karena kandungannya yang tinggi. Berdasarkan informasi industri (Oster, 2015) diketahui bahwa aluminium foil *food grade* memiliki kadar aluminium sebesar 99,99%, sehingga dapat dianggap sebagai aluminium murni. Kelebihan lain menggunakan aluminium foil *food grade*, yakni lebih mudah larut dibanding logam aluminium dalam bentuk batangan atau butiran. Namun, dalam penelitian lainnya aluminium foil *food grade* jarang digunakan, maka ini bisa menjadi sumber yang baik.

Zeolit-X yang dihasilkan dikarakterisasi dengan dua metode, yakni, *X-Ray Diffraction (XRD)*, dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Selanjutnya melihat pengaruh suhu kalsinasi zeolit-X terhadap karakteristik *liquid fuel* hasil pirolisis minyak kelapa sawit menggunakan uji analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain:

1. Mensintesis zeolit-X dari silika sekam padi dan aluminium foil *food grade* menggunakan metode hidrotermal.
2. Mengkarakterisasi zeolit-X menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).
3. Menggunakan zeolit-X untuk mengolah minyak kelapa sawit menjadi *liquid fuel* dengan metode pirolisis.
4. Menganalisis *liquid fuel* dengan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) dan penentuan viskositas, densitas, dan titik nyala.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini antara lain:

1. Meningkatkan pemanfaatan minyak kelapa sawit sebagai sumber energi terbarukan.
2. Memberikan nilai tambah pada sekam padi.
3. Sebagai referensi pada penelitian selanjutnya tentang pembuatan katalis zeolit-X.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bahan Bakar Cair Terbarukan

Di era saat ini, energi sudah menjadi kebutuhan primer masyarakat untuk mendukung kegiatan sehari-hari, mulai dari kegiatan rumah tangga, transportasi, hingga industri yang terus berkembang secara masif di seluruh dunia. Untuk memenuhi kebutuhan akan energi, sumber energi yang paling banyak dimanfaatkan hingga sekarang adalah bahan bakar fosil, baik batubara, produk olahan minyak bumi seperti *diesel* dan *gasoline*, serta gas alam. Masalah utama dengan bahan bakar fosil adalah bahwa sumber energi ini merupakan hasil proses alam yang berlangsung jutaan tahun, sehingga dinyatakan sebagai bahan bakar tidak terbarukan. Di sisi lain laju penggunaan yang terus meningkat dengan pesat mengakibatkan jumlah bahan bakar fosil terus menipis. Penipisan cadangan bahan bakar fosil ini telah menimbulkan sejumlah masalah, antara lain semakin sulit untuk mendapatkannya karena membutuhkan teknologi yang semakin maju dan biaya produksi makin mahal, sehingga harga jualnya juga semakin mahal. Pada akhirnya, cadangan bahan bakar fosil di alam juga akan habis.

Masalah lain dengan bahan bakar fosil yang menjadi sorotan secara global adalah dampak lingkungan karena pemakaiannya. Dalam pembakaran bahan bakar fosil akan dihasilkan gas buangan yang dikenal sebagai gas rumah kaca, yakni CO_2 , NO_x , dan SO_x . Gas buangan tersebut merupakan penyebab utama pemanasan global yang berdampak pada terjadinya perubahan iklim berskala luas, seperti banjir dan kemarau panjang.

Permasalahan yang dipaparkan di atas mengisyaratkan perlunya membatasi penggunaan bahan bakar fosil, dengan menggantinya dengan sumber energi alternatif yang dapat diperbarui sekaligus bersifat ramah lingkungan sebagai solusi ideal. Seiring dengan berkembangnya teknologi, terdapat tiga jenis bahan bakar cair terbarukan yang sudah dikenal, yakni bioetanol, *biodiesel*, dan bahan bakar cair hasil pirolisis biomassa. Berdasarkan jenis bahan bakar cair tersebut, bahan bakar cair hasil pirolisis terus mendapat perhatian karena beberapa alasan yang dianggap memiliki keuntungan dibandingkan bioetanol dan *biodiesel*. Kelebihan pertama adalah pembuatan bahan bakar cair hasil pirolisis tidak terbatas oleh bahan baku, karena bahan baku yang digunakan bersifat terbarukan. Kedua, bahan bakar cair yang digunakan ramah lingkungan (Shamsul *et al.*, 2017).

2.2. Pirolisis

Metode yang dapat digunakan untuk menghasilkan bahan bakar cair adalah transesterifikasi, fermentasi, dan pirolisis. Namun, dalam penelitian ini akan dikaji metode pirolisis. Komponen utama yang terkandung dalam bahan bakar cair hasil pirolisis adalah hidrokarbon, sehingga dapat diolah lebih lanjut menjadi biogasoline melalui proses fraksinasi. Keuntungan pada metode pirolisis ini prosesnya dapat berlangsung cepat dan peralatan yang digunakan relatif sederhana. Proses dekomposisi melepaskan spesies yang mudah menguap, sedangkan yang padat, yang tidak mudah menguap dikumpulkan sebagai *bio-char*. Sebagian dari fase volatil gas mengembun menjadi cairan hitam kental yang disebut *bio-crude oil*.

Proses pirolisis menghasilkan 3 macam bentuk zat, yaitu padatan berupa residu karbon, cair yang disebut *liquid fuel* yaitu berupa distilat asap cair dan tar, dan gas yang biasanya terdiri dari CO₂, CO, dan gas-gas lain yang mudah terbakar seperti CH₄, H₂, dan hidrokarbon tingkat rendah lain. Pirolisis bahan baku berwujud padat akan menghasilkan lebih sedikit *liquid fuel*

dibandingkan bahan baku berwujud cair (Mediasari, 2015). Untuk meningkatkan jumlah *liquid fuel* maka dalam penelitian ini ditambahkan minyak yang berasal dari minyak kelapa sawit, karena minyak kelapa sawit mengandung asam lemak yang dapat dikonversi menjadi bahan bakar. Akan tetapi, *liquid fuel* yang dihasilkan dari hasil pirolisis minyak kelapa sawit masih belum maksimal.

Pada prinsipnya, pirolisis dapat berlangsung dengan atau tanpa katalis, namun metode yang paling luas digunakan adalah dengan penggunaan katalis (Cwik, 2014). Penggunaan katalis dalam proses pirolisis dapat menurunkan suhu reaksi, mempercepat laju reaksi, dan menentukan komposisi *liquid fuel* yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Damayanthi dan Martini (2009) menunjukkan hasil pirolisis yang kurang baik tanpa penambahan katalis. Dalam hal ini maka dilakukan penambahan katalis yang diharapkan memberikan hasil yang lebih maksimal dalam proses pirolisis.

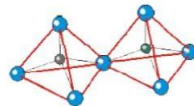
2.3. Katalis

Katalis merupakan zat yang dapat mempercepat reaksi tanpa mengalami perubahan secara kimiawi pada akhir reaksi, reaksi yang berlangsung dengan bantuan katalis secara umum dikenal dengan reaksi katalisis. Katalis dapat mempercepat reaksi dengan jalan menurunkan energi aktivasi reaksi. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah katalis jenis heterogen, karena katalis ini katalis ini juga lebih efektif dan efisien, mudah untuk digunakan dalam berbagai media, tidak korosif, relatif murah, dan dapat dengan mudah diaktifkan untuk mendapatkan sifat katalis yang diinginkan (Frenzer *et al.*, 2006; Endalew *et al.*, 2011). Berbagai zat padat telah digunakan sebagai penyangga katalis heterogen, antara lain adalah alumina (Evangelista, *et al.*, 2012), zeolit (Wu *et al.*, 2012), dan silika (Pandiangan *et al.*, 2013). Dalam penelitian sebelumnya, salah satu penyangga katalis yang telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi adalah zeolit.

2.4. Zeolit

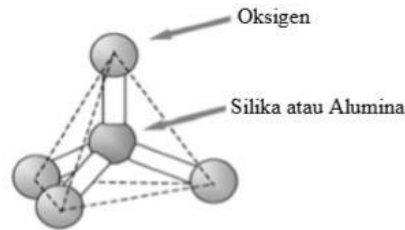
Salah satu penyangga katalis yang telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi adalah zeolit. Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Zeolit tersusun atas silika dan alumina dengan perbandingan tertentu. Zeolit dihasilkan dari proses hidrotermal pada batuan beku basa, dan merupakan endapan dari aktivitas vulkanik yang banyak mengandung unsur silika (Saputra, 2006).

Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral $[\text{AlO}_4]$ dan $[\text{SiO}_4]$ yang saling berhubungan melalui atom O membentuk rongga-rongga intrakristalin dan saluran-saluran yang teratur. Dalam struktur tersebut Si^{4+} dapat digantikan dengan Al^{3+} sehingga terbentuk muatan negatif berlebih pada ion Al. Muatan negatif ini akan dinetralkan oleh kation-kation (Barrer, 1982).



Gambar 1. Tetrahedral alumina dan silikat pada struktur zeolit.

Secara sederhana, struktur zeolit digambarkan berbentuk tetrahedral unit TO_4 , dimana T adalah ion Si^{4+} atau Al^{3+} dengan atom O berada diantara dua atom T, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2 (Georgiev *et al.*, 2009).



Gambar 2. Struktur kimia zeolit.

Kelebihan zeolit adalah memiliki luas permukaan dan keasaman yang mudah dimodifikasi karena merupakan kristal alumina silika tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga yang di dalamnya terisi oleh ion-ion logam. Zeolit banyak dimanfaatkan sebagai absorben (logam berat, zat warna, zat beracun, polusi gas, cair, dan padat), penukar ion, penyaring molekular, dan katalis (produksi biogasolin, perengkahan). Menurut proses pembentukannya, zeolit dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yakni zeolit alam dan sintetik.

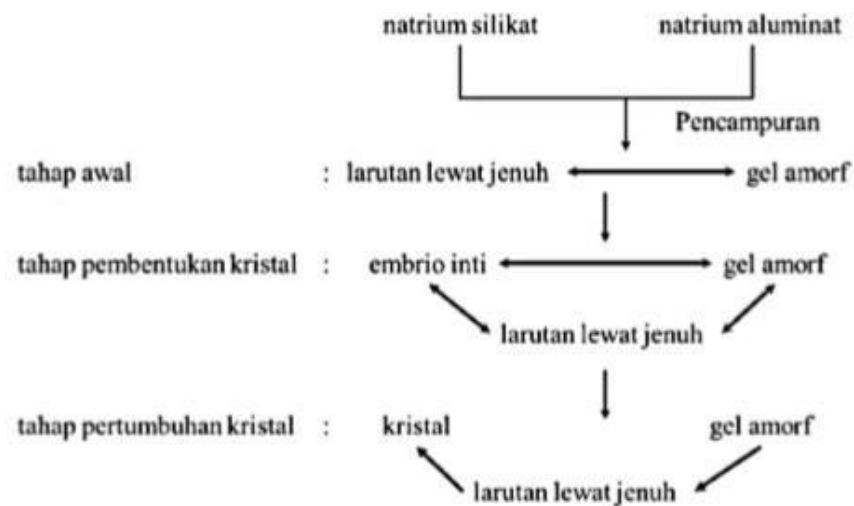
2.4.1. Zeolit Alam

Dikaitkan dengan fungsinya sebagai katalis, zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg, dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Adanya pengotor ini dapat mengurangi aktivitas zeolit sebagai katalis. Untuk memperbaiki karakter zeolit alam, biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu (Mockovčiaková et al., 2007).

2.4.2. Zeolit Sintetik

Zeolit sintetik dikembangkan untuk mengatasi kelemahan dari zeolit alam antara lain karena komposisi mineral yang bervariasi dan ukuran pori-pori yang tidak seragam. Pengembangan zeolit sintetik ini dapat dilakukan dengan mengatur pori-porinya sehingga lebih spesifik pemanfaatannya (Saraswati, 2015). Zeolit sintetik umumnya dibuat dengan pencampuran

larutan alumina dan pembentukan gel silikat. Sintesis zeolit melibatkan beberapa langkah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema pembentukan zeolit secara umum (Hamdan, 1992).

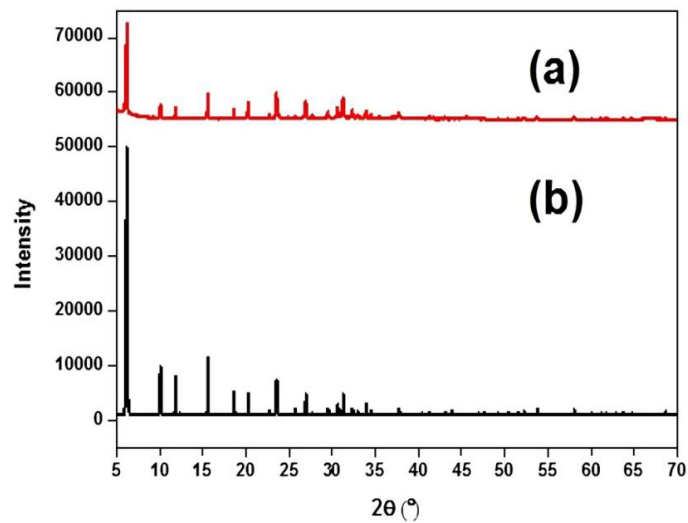
Dari skema tersebut dapat dijelaskan bahwa ketika larutan aluminat dan larutan silikat dicampur, akan terbentuk dua fase, yaitu fase gel dan fase larutan sebagian larutan lewat jenuh. Kedua fase ini berada dalam kesetimbangan sebagai tahap awal pembentukan zeolit. Pada tahap pembentukan kristal, gel amorf akan mengalami penataan ulang pada strukturnya dengan adanya pemanasan sehingga dapat terbentuk embrio inti kristal. Pada keadaan ini terjadi kesetimbangan antara embrio inti kristal, gel amorf sisa, dan larutan lewat jenuh. Proses ini berada pada keadaan metastabil. Jika gel amorf sisa larut kembali, maka akan terjadi pertumbuhan kristal dari embrio inti tersebut sampai gel amorf sisa tersebut habis dan terbentuk kristal dalam keadaan stabil. Tahap ini merupakan tahap pertumbuhan kristal (Hamdan, 1992).

2.4.3. Zeolit-X

Dalam penelitian ini menggunakan zeolit sintetis, yakni zeolit-X. Zeolit-X merupakan salah satu tipe zeolit sintetis, yaitu zeolit yang memiliki diameter super cage 13\AA dan diameter β -cage (kerangka sodalit) $6,6\text{\AA}$ dengan diameter pori $7,4\text{\AA}$ membentuk struktur tiga dimensi dengan nisbah Si/Al 1,0 - 1,5 (Thammavong, 2003). Zeolit-X memiliki ukuran pori kecil/mikropori yang luas, inilah salah satu alasannya zeolit-X banyak digunakan untuk proses pemurnian dan pemisahan gas dan senyawa organik, dan memiliki kemampuan sebagai penukar ion yang baik sebagai adsorben untuk penyerapan kation logam (Ozdemir, 2013).

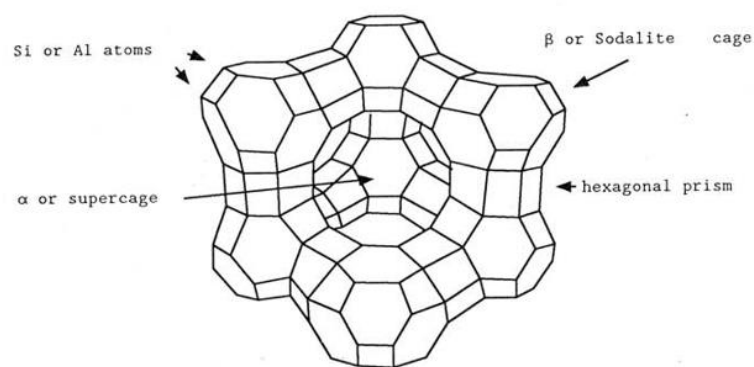
Zeolit-X telah banyak digunakan secara komersial, seperti katalis untuk pemecahan rantai hidrokarbon, pembuatan deterjen, penukar ion logam berat, dan adsorben untuk proses pemisahan dan pemurnian (Thammavong, 2003). Dalam penelitian sebelumnya (Manalu, 2017) zeolit-X ini telah digunakan sebagai katalis untuk pirolisis campuran bagas tebu dan minyak biji karet dan ditemukan bahwa bahan bakar cair yang dihasilkan mengandung hidrokarbon sebagai komponen utama. Selain itu, zeolit-X ini juga telah digunakan sebagai salah satu katalis untuk menghasilkan biodiesel melalui proses transesterifikasi minyak kelapa sawit yang disintesis dari silika sekam padi dan logam aluminium (Pandiangan *et al.*, 2017).

Zeolit-X yang disintesis oleh Pandiangan *et al.*, (2017) dari silika sekam padi dan logam aluminium dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) ditunjukkan dengan hasil difraktogram sinar X di bawah ini :



Gambar 4. Pola difraktogram sinar X dari (a). zeolit sintetis dari silika sekam padi dan logam aluminium dan (b) standar dari faujasit.

Dari hasil difraktogram sinar-X zeolit-X di atas ditunjukkan terdapat empat puncak dengan nilai relatif intensitas tertinggi pada sudut 2θ ($^\circ$) yaitu 6.18 ; 15.60 ; 23.56 ; 31.26 yang menunjukkan bahwa terbentuknya fasa faujasit pada zeolit-X yang disintesis tersebut (Pandiangan *et al.*, 2017). Unit struktur dari zeolit-X ditunjukkan dalam Gambar 5 di bawah ini :



Gambar 5. Unit Struktur zeolit X (Balkus, *et al.*, 1991).

Zeolit-X dapat disintesis dari bahan alam sebagai bahan baku pembuatannya seperti seperti abu vulkanik (Bahri, 2015), dan abu layang (Franus, 2012). Beberapa penelitian menunjukkan proses sintesis zeolit-X dapat menggunakan beberapa metode, seperti Widayat dkk, (2012) yang mensintesis zeolit-X dengan metode hidrogel menggunakan serbuk tawas, air, dan NaOH.

Pada penelitian ini, zeolit-X disintesis dari silika sekam padi dan aluminium foil *food grade*. Salah satu sumber silika yang ketersediaannya melimpah dan dapat diperbarui adalah sekam padi. Berdasarkan data BPS (2018) produksi padi di Lampung pada tahun 2018 mencapai 1.901.041 ton gabah kering giling (GKG). Simanjuntak *et al.*, (2016) melaporkan bahwa sekam padi mengandung 18-20% silika dan memiliki kemurnian yang tinggi, yakni sekitar 95%. Silika sekam padi dapat diperoleh dengan sangat mudah dan biaya yang relatif murah, yakni dengan cara ekstraksi alkalis (Daifullah *et al.*, 2003).

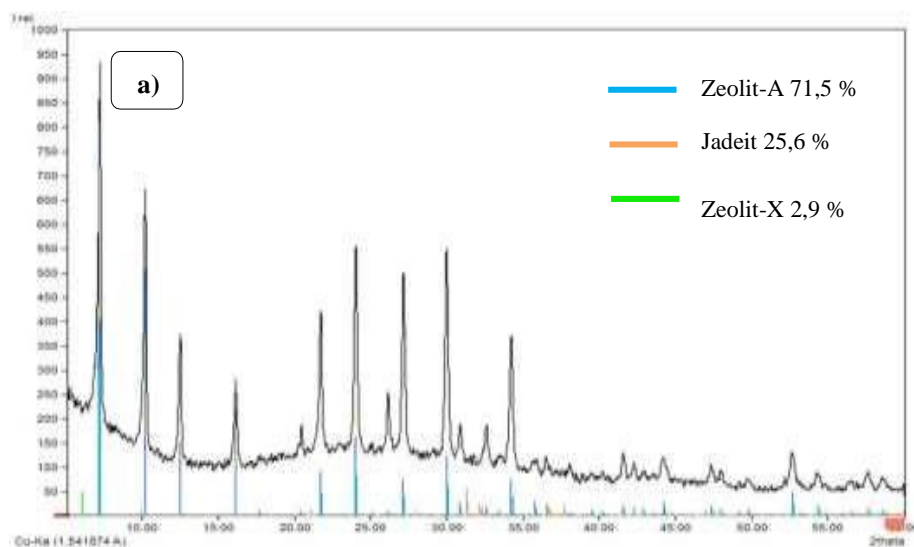
Simanjuntak *et al.* (2013) telah melakukan penelitian pembuatan aluminosilikat dari silika sekam padi dan logam aluminium. Namun dalam penelitian ini akan menggunakan aluminium foil *food grade* sebagai sumber aluminium karena kandungannya yang tinggi. Berdasarkan informasi industri (Oster, 2015) diketahui bahwa aluminium foil *food grade* memiliki kadar aluminium sebesar 99,99%, sehingga dapat dianggap sebagai aluminium murni. Kelebihan lain menggunakan aluminium foil *food grade*, yakni tidak lebih mudah larut dibanding logam aluminium dalam bentuk batangan atau butiran. Namun, dalam penelitian lainnya aluminium foil *food grade* jarang digunakan, maka ini bisa menjadi sumber yang baik.

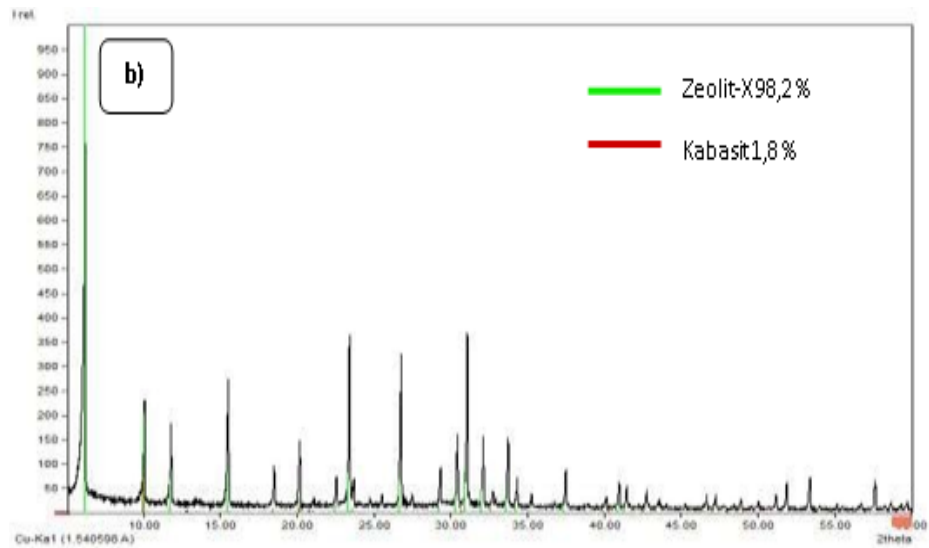
2.5.Karakterisasi Zeolit-X

2.5.1. X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction merupakan metode analisa yang memanfaatkan dan menggunakan interaksi sinar-X dengan atom yang tersusun dalam sebuah sistem kristal. *X-ray diffraction* juga merupakan salah satu teknik analisis yang penting dalam menentukan struktur kristalin maupun amorf dari suatu sampel polimer, dan untuk mengevaluasi sifat-sifat fasa kristal dan ukuran kristal (Leofanti *et al.*, 1997).

Simanjuntak, (2020) dalam penelitiannya, sintesis zeolit ini dilakukan dengan nisbah Si/Al divariasi yaitu menaikkan nisbah Si/Al dari 1,8 menjadi 2,4. Preparasi sampel dilakukan dengan suhu kristalisasi 100 °C, selama 96 jam, dan dikalsinasi pada suhu 550 °C, selama 6 jam. Zeolit dianalisis dengan XRD dan menggunakan program Match! Versi 2. Hasil difraktogram sinar-X dari kedua sampel zeolit dengan nisbah Si/Al = 1,8 dan 2,4 dapat dilihat pada Gambar 6.





Gambar 6. Difraktogram sinar-X sampel yang disintesis dengan nisbah Si/Al yang berbeda: (a) nisbah Si/Al = 1,8, (b) nisbah Si/Al = 2,4.

Hasil difraktogram sinar-X dari kedua sampel zeolit di atas terlihat dengan jelas bahwa komposisi (nisbah Si/Al) sangat mempengaruhi terhadap pembentukan zeolit-X (Zhang *et al.*, 2013). Nisbah Si/Al = 1,8 terlihat pada zeolit tersebut terdapat komposisi fasa zeolit-X dengan intensitas yang masih rendah yaitu 2,9%, namun pada zeolit dengan nisbah Si/Al = 2,4 komposisi fasa zeolit-X mencapai 98,2%.

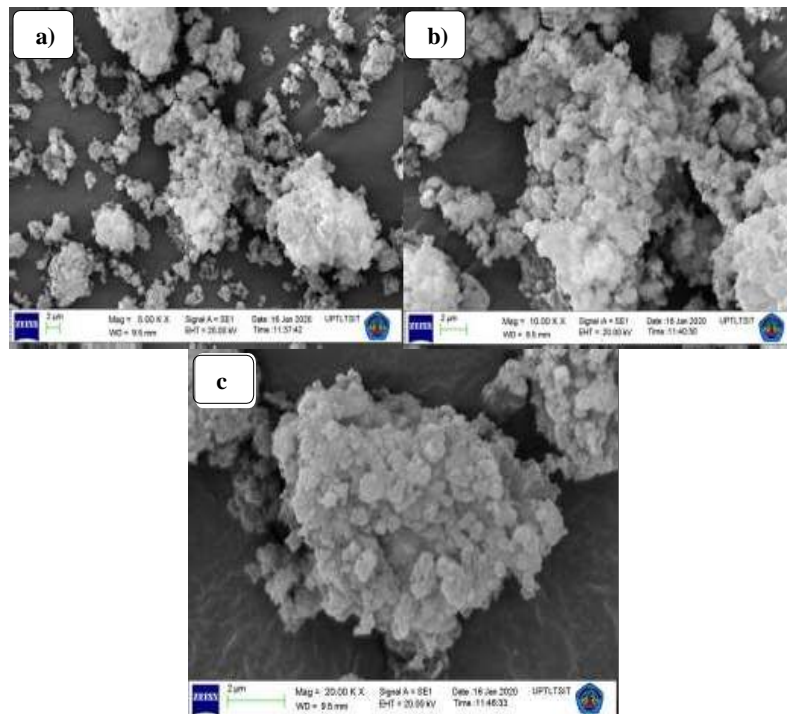
Sintesis zeolit-X dari berbagai jenis bahan baku dan kondisi percobaan yang optimum juga telah dilaporkan dalam beberapa penelitian sebelumnya. Penelitian terkait sintesis zeolit-X sebelumnya dilakukan dengan menggunakan bahan baku silika sekam padi dan logam aluminium, ditemukan bahwa kondisi suhu kalsinasi yang optimum untuk pembentukan zeolit-X adalah suhu kalsinasi 550 °C (Pandiangan *et al.*, 2017). Pada Gambar 6b dari hasil XRD zeolit-X hasil sintesis diperoleh 4 puncak dengan intensitas tertinggi dari zeolit sintesis yaitu pada sudut 2θ : 6,18° ; 15,60° ; 23,56°; dan 31,26°.

2.5.2. Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM merupakan alat yang sangat kuat untuk menguji, menginterpretasikan mikro-struktur dari suatu material, dan secara luas digunakan dalam ilmu material SEM biasa digunakan untuk melihat morfologi permukaan.

Mikroskop ini digunakan untuk mempelajari struktur permukaan objek, yang secara umum diperbesar antara 1.000 - 40.000 kali. Prinsip dasar dari SEM adalah interaksi antara berkas elektron dengan spesimen padatan. Mikrograf yang dihasilkan dari analisis dengan SEM memberikan beberapa informasi yang berkaitan dengan morfologi permukaan sampel, yakni ukuran butir, distribusi butir, dan porositas permukaan.

Simanjuntak (2020) mensintesis zeolit-X nisbah Si/Al = 2,4 yang disajikan dalam Gambar 7 dengan tiga perbesaran, yakni 5.000; 10.000 dan 20.000 kali.



Gambar 7. Mikrograf zeolit-X nisbah Si/Al = 2,4 dengan perbesaran (a) 5.000; (b) 10.000 dan (c) 20.000 kali.

Mikrograf di atas menunjukkan bahwa zeolit-X nisbah Si/Al = 2,4 yang disintesis merupakan material berpori, seperti lazimnya zeolit. Pada mikrograf dari hasil analisis SEM di atas ditunjukkan bahwa sampel terdiri dari gumpalan-gumpalan (aglomerasi) partikel dengan ukuran yang beragam tersebar di permukaan sampel, yang menunjukkan bahwa permukaan sampel bersifat heterogen.

2.6. Bahan Baku Bahan Bakar Cair

Biomassa yang dapat digunakan dapat berasal dari sembarang biomassa, seperti cangkang sawit (Wardana, 2016), minyak kelapa sawit (Antono, 2018), campuran bagas tebu dan minyak biji karet (Simanjuntak, 2020), dan campuran bagas tebu dan minyak jarak kaliki (Pratiwi, 2018). Salah satu biomassa yang berpotensi untuk dikembangkan adalah minyak kelapa sawit. Dalam penelitian ini, minyak kelapa sawit menjadi salah satu minyak nabati yang memiliki potensi terbesar di Indonesia sebagai bahan baku biomassa. Pada tahun 1980 produksi minyak kelapa sawit Indonesia hanya sebesar 721,17 ribu ton, dan naik menjadi 33,50 juta ton pada tahun 2016 (Kementerian Pertanian, 2016). Oleh karena itu, bila ditinjau terhadap kesiapan ketersediaan bahan baku, maka kelapa sawit merupakan bahan yang berpotensi untuk dipergunakan sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar terbarukan.

Minyak kelapa (*coconut oil*) dan minyak kelapa sawit (*palm oil*) merupakan minyak nabati yang paling banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku utama untuk produksi *biogasoline*. Pemanfaatan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku disebabkan oleh beberapa keuntungan yang dimilikinya. Bagian kulit (serabut) kelapa sawit mengandung 45-50% minyak, sedangkan bagian intinya (kernel) mengandung 44% minyak.

Kelapa sawit juga mudah didapat di Indonesia karena Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar kedua di dunia. Berdasarkan penelitian sebelumnya, kelapa sawit dapat diolah menjadi biogasoline yang ramah lingkungan karena bebas nitrogen, sulfur, dan senyawa aromatik sehingga emisi pembakaran yang dihasilkan tidak merusak lingkungan (Puspitaningati dkk., 2013).

2.6.1. Minyak Kelapa Sawit

Minyak sawit adalah minyak yang dihasilkan dari buah kelapa sawit. Seperti jenis minyak yang lain, minyak sawit tersusun atas unsur C, H, dan O. Minyak sawit ini terdiri atas fraksi padat dan cair dengan perbandingan yang seimbang. Penyusun fraksi padat terdiri atas asam lemak jenuh, antara lain asam miristat (1%), asam palmitat (45%), dan asam stearat (4%), sedangkan fraksi cair mengandung asam lemak tak jenuh yang terdiri atas asam oleat (39%) dan asam linoleat (11%). Komposisi tersebut ternyata agak berbeda jika dibandingkan dengan minyak inti sawit dan minyak kelapa. Secara lebih rinci, komposisi asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh yang terdapat dalam ketiga jenis minyak nabati tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi beberapa asam lemak dalam tiga jenis minyak nabati

Asam lemak	Jumlah atom C	Minyak sawit (%)	Minyak inti sawit (%)	Minyak kelapa (%)
Asam lemak jenuh				
Oktanoat	8	-	2-4	8
Dekanoat	10	-	3-7	7
Laurat	12	1	41-55	48
Miristat	14	1-2	14-19	17
Palmitat	16	32-47	6-10	9
Stearat	18	4-10	1-4	2
Asam lemak tidak jenuh				
Oleat	18	38-50	10-20	6
Linoleat	18	5-14	1-5	3
Linolenat	18	1	1-5	-

Sumber: Tim Penulis PS (2000)

Berdasarkan Tabel 1 minyak sawit memiliki persentase asam palmitat dan asam oleat terbesar dibandingkan minyak inti sawit dan minyak kelapa sehingga jika dilakukan proses *cracking* menjadi *biogasoline* akan lebih menguntungkan karena akan diperoleh produk yang lebih banyak. Hal ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Wijanarko *et al.*, (2006) yang meneliti tentang produksi *biogasoline* dari minyak sawit melalui perengkahan katalitik dengan katalis γ -alumina. Jika dianalogikan dengan proses pengilangan minyak bumi, minyak sawit dapat menghasilkan produk-produk turunan yang setara dengan hasil pengolahan minyak bumi seperti minyak solar, minyak tanah, maupun bensin.

2.7. Analisis *Liquid Fuel*

2.7.1. Analisis Komposisi *Liquid Fuel* dengan *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS)

Perangkat GC-MS pada dasarnya merupakan paduan perangkat GC, yang berperan untuk memisahkan komponen yang ada dalam suatu sampel, dan perangkat MS yang berperan sebagai detektor. Komponen penting dalam kromatografi gas adalah tangki pembawa gas yang dilengkapi dengan pengatur tekanan, tempat injeksi sampel, kolom, detektor yang dilengkapi thermostat, amplifier dan rekorder.

Prinsip kerja dari GC-MS yaitu molekul-molekul gas bermuatan akan diseleksi berdasarkan massa dan beratnya, spektrum yang didapat dari pengubahan sampel menjadi ion-ion yang bergerak, kemudian dipisahkan berdasarkan perbandingan massa terhadap muatan (m/e). Ionisasi menghasilkan fragmen-fragmen yang akan menghasilkan spektrum. Spektrum massa yang dihasilkan akan mempengaruhi sifat molekul, potensial ionisasi, titik uap, dan berfungsi sebagai alat penganalisis apakah tunggal, ganda, kuadropol, atau *time of flight*.

Proses analisisnya adalah dimulai dari sampel yang diuapkan dan didorong menuju ruang pengion yang akan menghasilkan ion-ion bermuatan positif dan molekul dipisahkan dalam bentuk ionnya, ion positif masuk ke daerah penganalisis massa dan akibat medan magnet yang menyebabkan lintasan menjadi melengkung, fragmen akan bergerak cepat menuju celah keluar dengan cara memvariasikan potensial akselerasi atau kekuatan medan magnet yang akan dicatat oleh rekorder.

Selain komponen kimia, kelayakan bahan bakar cair juga dianalisis berdasarkan beberapa parameter fisik. Berdasarkan Standar SNI 7431 : 2015, beberapa parameter fisik sebagai acuan kelayakan bahan bakar cair untuk digunakan adalah densitas, viskositas, dan titik nyala.

2.7.2. Densitas

Densitas adalah perbandingan antara berat persatuan volume sampel. Karakteristik ini sangat berhubungan erat dengan nilai panas kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin per satuan bahan bakar yang digunakan. Densitas yang disarankan untuk bahan bakar cair berdasarkan standar yang ditetapkan SNI 7431 : 2015, yaitu 0,87 - 0,910 g/mL.

2.7.3. Viskositas

Viskositas adalah suatu nilai yang menyatakan besarnya hambatan aliran suatu bahan cair. Viskositas disebabkan adanya gaya kohesi atau gaya tarik menarik antara molekul sejenis. Pengukuran viskositas suatu cairan dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain, metode bola jatuh, silinder konsentrik, metode *plate and cone*, piringan sejajar, dan metode kapilaritas (Hananto *et al.*, 2011). Semakin tinggi viskositas, semakin kental maka semakin sukar bahan cair untuk mengalir (Wardan dan Zainal, 2003).

Viskositas merupakan parameter penting dalam menentukan baku mutu suatu bahan bakar. Pada dasarnya, bahan bakar harus memiliki viskositas yang relatif rendah agar mudah mengalir dan teratomisasi. Jika harga viskositas terlalu tinggi maka akan menyebabkan gesekan di dalam pipa akan semakin besar, kerja pompa akan berat, penyaringannya sulit dan kemungkinan besar kotoran ikut terendap, serta sulit mengabutkan bahan bakar (Dyah, 2011). Viskositas yang disarankan untuk bahan bakar cair berdasarkan standar yang ditetapkan SNI 7431 : 2015, yaitu maksimal 36 cSt.

2.7.4. Titik Nyala (Flash Point)

Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul nyala api permukaan minyak, jika didekatkan dengan nyala api. Titik nyala ini diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala yang disarankan untuk bahan bakar cair berdasarkan standar yang ditetapkan SNI 7431 : 2015, yaitu minimal 100 °C.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Oktober 2020 - Mei 2021. Analisis sampel dan karakterisasi zeolit dilakukan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya untuk analisis *X-Ray Diffraction* (XRD), analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT), Universitas Lampung, dan analisis *Gas Chromathography Mass Spectrometry* (GC-MS) dilakukan di Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat-alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu perangkat pirolisis, kompor, oven, teflon, toples, spatula *stainless*, peralatan gelas, saringan mesh, neraca analitik, *hotplate stirrer*, wadah *lock&lock*, autoklaf, alat penggiling, tanur, *Scanning Electron Microscope* (SEM), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Gas Chromathography Mass Spectrometry* (GC-MS).

3.2.2. Bahan-bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sekam padi, minyak kelapa sawit, aluminium foil *food grade*, larutan NaOH 1,5%, NaOH padat, larutan HNO₃ 10%, akuades, kertas saring, dan indikator universal.

3.3. Prosedur Kerja

3.3.1. Preparasi Sekam Padi

Pada penelitian ini langkah awal yang dilakukan adalah preparasi sekam padi, yakni dengan merendam sekam padi dalam air panas selama 2 jam untuk menghilangkan pengotor alami serta menghilangkan komponen organik dalam sekam padi yang dapat larut dalam air. Sekam padi yang mengapung dibuang dan diambil sekam padi yang tenggelam. Sekam padi yang tenggelam kemudian bilas beberapa kali menggunakan air panas untuk menghilangkan bahan organik yang larut dalam air yang masih menempel pada sekam padi. Sekam padi yang telah bersih kemudian dikeringkan dan siap digunakan untuk ekstraksi silika.

3.3.2. Ekstraksi Silika dari Sekam Padi

Ekstraksi silika sekam padi dilakukan mengikuti prosedur yang digunakan dalam penelitian sebelumnya (Simanjuntak, 2020). Sebanyak 50 gram sekam padi direndam dalam 500 mL HNO₃ 10% kemudian didiamkan selama 24 jam. Setelah 24 jam direndam lalu sekam padi dicuci secara berulang dengan air bersih untuk menghilangkan asam. Selanjutnya, sekam padi dicampur dengan NaOH 1,5% dan dipanaskan hingga mendidih selama 30 menit. Kemudian sampel disaring dan filtrat yang mengandung silika terlarut ditampung. Silika dalam filtrat diendapkan dengan penambahan HNO₃ 10% sampai terbentuk gel. Gel silika didiamkan selama 24 jam pada

suhu kamar. Selanjutnya, gel silika disaring dan dicuci dengan akuades panas hingga pH gel mencapai pH 7 (netral). Silika yang diperoleh dikeringkan pada oven dengan suhu 80 °C dan silika yang telah kering dihaluskan dan disaring hingga diperoleh serbuk yang siap digunakan.

3.3.3. Sintesis Zeolit-X

Sintesis zeolit-X dilakukan dengan metode hidrotermal, mengikuti prosedur yang digunakan dalam penelitian sebelumnya (Simanjuntak, 2020).

Sebanyak 22,2 g NaOH dimasukkan ke dalam wadah *lock&lock*, lalu ditambahkan 200 mL akuades, diaduk hingga larut, kemudian dilarutkan 20 g silika sekam padi ke dalamnya, diaduk dengan pengaduk magnetik sambil dipanaskan hingga silika terlarut sempurna, lalu ditutup dan dibiarkan selama 3 jam. Setelah 3 jam, campuran disaring menggunakan kertas saring dan dituakan (*aging*) selama 24 jam. Kemudian, sebanyak 3,75 g potongan alumunium foil *food grade* disebar ke dalam larutan natriumsilikat dan wadah ditutup tidak begitu rapat, lalu diaduk dengan pengaduk magnetik selama 3 jam. Selanjutnya larutan aluminosilikat dimasukkan ke dalam autoklaf untuk proses *aging* selama 24 jam.

Setelah 24 jam proses *aging*, autoklaf berisi larutan aluminosilikat dimasukkan ke dalam oven untuk proses kristalisasi pada suhu 100 °C selama 96 jam. Selanjutnya, sampel dikeluarkan dari oven dan didinginkan. Setelah dingin, larutan aluminosilikat dikeluarkan, lalu disaring menggunakan kertas saring. Endapan yang diperoleh dicuci dengan akuades hingga pH 7, kemudian endapan dikeringkan di dalam oven bersuhu 80 °C selama 12 jam. Selanjutnya dikalsinasi pada suhu 550, 650, 750, 850 °C dengan waktu masing-masing kalsinasi selama 6 jam.

3.3.4. Karakterisasi Zeolit-X

Karakterisasi zeolit-X dilakukan dengan menggunakan beberapa analisis yaitu *X-ray Diffraction (XRD)* untuk mengetahui fasa kristalin dan menentukan sifat kristal atau kristalinitas dari zeolit, apakah sampel bersifat amorf atau kristalin. Analisis *Scanning Electron Microscope (SEM)* untuk memberi informasi tentang morfologi permukaan zeolit.

3.3.4.1. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* dilakukan untuk mengetahui fasa dan untuk menentukan sifat kristal atau kristalinitas dari sampel. Karakterisasi zeolit-X dilakukan menggunakan alat *X-Ray Diffraction (XRD) type Xpert MPD diffractometer* dengan radiasi Cu (= 1,5406 Å) dengan energi sebesar 40kV dan arus sebesar 30mA, dengan rentang sudut $2\theta = 5 - 60^\circ$. Proses identifikasi fasa yang terbentuk dianalisis dengan bantuan perangkat lunak Match! Versi 2 dan membandingkan data difraksi zeolit-X hasil sintesis dengan data kepustakaan *International Zeolite Association (IZA)*.

3.3.4.2. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)* digunakan untuk memberi informasi tentang morfologi permukaan sampel.

Karakterisasi zeolit-X dilakukan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope (SEM) type SEM ZEISS EVO MA 10* dengan *Energy High Tension (EHT) : 15 kV, Working Distance (WD) : 8,5 dan 9,0 mm*.

Kemudian zeolit-X dipindai pada perbesaran yang berbeda untuk memperoleh mikrograf dengan gambar permukaan yang lebih baik.

3.3.5. Percobaan Pirolisis

Sebanyak 300 mL minyak kelapa sawit dicampurkan ke dalam masing-masing zeolit-X 15 gram hasil kalsinasi dengan variasi suhu 550, 650, 750, dan 850 °C lalu dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Kemudian dipirolisis selama 2 jam yang ditandai dengan tidak keluarnya lagi *liquid fuel* dari selang pirolisis. Produk cair yang dihasilkan dari proses pirolisis ditampung dan dipisahkan antara fasa organik (bahan bakar cair) dan fasa air. Fasa organik yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan GC-MS.

3.3.6. Analisis *Liquid Fuel*

Bahan bakar cair (*liquid fuel*) dianalisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) bertujuan untuk mengidentifikasi komponen-komponen penyusun sampel dan karakteristik fisik sebagai acuan kelayakan bahan bakar cair adalah densitas, viskositas, dan titik nyala (*flash point*).

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

Produk yang dihasilkan dari uji perengkahan, dianalisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS). Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi komponen dalam produk dan secara khusus untuk melihat apakah senyawa-senyawa dalam sampel mampu diubah menjadi hidrokarbon. Karakterisasi *liquid fuel* hasil pirolisis dilakukan menggunakan alat *Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS) type GCMS-QP2010S Shimadzu, kolom AGILENT DB-624, dengan gas helium, suhu 40 sampai dengan 250 °C, tekanan konstan pada 40 kPa, mode scan, waktu 60 menit, laju aliran 0,85 ml/menit. Pemindai bobot molekul kisaran 28-600 (m/z). Hasil analisis berupa grafik yang berisi titik puncak tiap senyawa yang ditentukan dengan bobot jenis dan perpustakaan dari GC-MS.

Selain komponen kimia, kelayakan bahan bakar cair juga dianalisis berdasarkan beberapa parameter fisik. Berdasarkan Standar SNI 7431 : 2015, beberapa parameter fisik sebagai acuan kelayakan bahan bakar cair untuk digunakan adalah densitas, viskositas, dan titik nyala.

3.3.6.2. Analisis Densitas

Langkah-langkah untuk analisis densitas *liquid fuel* adalah sebagai berikut:

1. Piknometer kosong dikeringkan di dalam oven kemudian ditimbang terlebih dahulu.
2. Lalu piknometer diisi dengan sampel kemudian ditimbang kembali, berat sampel sama dengan selisih antara piknometer kosong dengan piknometer berisi sampel.
3. Densitas sampel kemudian dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{(W_2 - W_1) \text{ g}}{V \text{ (mL)}}$$

Keterangan :

ρ = densitas sampel (g/mL)

W_2 = berat piknometer kosong (g)

W_1 = berat piknometer yang berisi sampel (g)

V = volume piknometer (mL)

3.3.6.3. Analisis Viskositas

Viskositas diukur dengan menggunakan viskometer kinematik tipe NDJ-8S. Langkah-langkah untuk analisis viskositas biodiesel adalah sebagai berikut :

1. Sampel yang dihitung viskositasnya disiapkan dan dimasukkan ke dalam gelas piala dengan diameter tidak kurang dari 70 mm dan tinggi tidak kurang dari 125 mm.

2. Suhu sampel dijaga agar tetap sesuai dengan suhu ruang.
3. Alat instrumen dipastikan siap untuk digunakan.
4. Sekrup dikencangkan lalu rotor ditaruh ke dalam sampel hingga tanda batas pada rotor mencapai permukaan sampel.
5. Alat dihidupkan dan diatur mode otomatis lalu tombol OK ditekan agar alat memulai pengukuran secara otomatis.
6. Setelah hasil ditampilkan di layar, tekan tombol Reset maka sistem akan kembali ke keadaan awal.
7. Lakukan hal yang sama untuk semua sampel yang diuji nilai viskositasnya.
8. Setelah seluruh proses selesai, maka alat dimatikan.

3.3.6.4. Analisis Titik Nyala (*Flash Point*)

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

1. Cawan dibersihkan dan dikeringkan sebelum digunakan.
2. Sampel dimasukkan dalam cawan hingga batas yang telah ditentukan.
3. Cawan dipanaskan dengan bunsen dan pada bibir cawan dibakar perlahan sambil diukur temperatur sampel.
4. Proses ini dilakukan hingga muncul nyala api pada sampel.
5. Setelah muncul nyala, temperatur sampel dicatat sebagai titik nyala sampel.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil penelitian ini menunjukkan zeolit-X dapat disintesis dari silika sekam padi dan aluminium foil dengan metode hidrotermal, dimana kondisi terbaik adalah dengan suhu kristalisasi 100 °C selama 96 jam dan suhu kalsinasi 550 °C selama 6 jam.
2. Karakterisasi XRD menunjukkan bahwa variasi suhu kalsinasi mempengaruhi jenis fasa, kristalinitas dari zeolit tersebut. Semakin tinggi suhu kalsinasi, maka semakin rendah fasa *faujasite* pada zeolit-X.
3. Karakterisasi SEM menunjukkan bahwa variasi suhu kalsinasi mempengaruhi morfologi (bentuk dan ukuran) permukaan zeolit-X.
4. Pada penelitian ini zeolit-X yang dikalsinasi dengan suhu 750 °C adalah awal perubahan jenis fasa, kristalinitas, dan morfologi dari zeolit-X.
5. Analisis *liquid fuel* menggunakan GC-MS menunjukkan campuran minyak kelapa sawit dengan katalis suhu kalsinasi 850 °C adalah komponen paling banyak senyawa hidrokarbon, yaitu sebesar 87,91%.
6. Analisis *liquid fuel* menggunakan GC-MS menunjukkan campuran minyak kelapa sawit dengan katalis suhu kalsinasi 850 °C adalah komponen paling banyak fraksi *gasoline*, yaitu sebesar 54,27%.

5.2. Saran

Beberapa hal yang disarankan pada penelitian selanjutnya antara lain :

1. Melakukan karakterisasi tambahan menggunakan *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) dan melakukan uji keasaman pada zeolit.
2. Mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pirolisis seperti volume sampel, kuantitas katalis, suhu pirolisis, dan waktu pirolisis.
3. Mengukur temperatur suhu setiap proses pirolisis dilakukan.
4. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan melakukan sentrifugasi terhadap *liquid fuel* yang dihasilkan untuk melihat ada atau tidaknya katalis yang tercampur pada produk.
5. Melakukan riset yang lebih lanjut untuk melihat pengaruh suhu kalsinasi terhadap hasil hidrokarbon dari *liquid fuel* yang dihasilkan.
6. Pengolahan lebih lanjut dari bahan bakar cair (*liquid fuel*) untuk menjadi bahan bakar terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia*. Jakarta. 12 hlm.
- Bahri, S. 2015. *Sintesis dan Karakterisasi Zeolit X dari Abu Vulkanik Gunung Kelud dengan Variasi Rasio Molar Si/Al menggunakan Metode Sol-Gel*. (Skripsi). Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang. 116 hlm.
- Barrer, R. M. 1982. *Hydrothermal Chemistry of Zeolites*. Academic Press., London. 360 p.
- Cwik, A. 2014. *Fuel from Waste-Catalytic Degradation of Plastic Waste to Liquid Fuels*. (Thesis). Instituto Superior Técnico Lisboa. Portugal. 86 p.
- Daifullah, A. A. M., Girgis, B. S., and Gad, H. M. H. 2003. "Utilization of AgroResidues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans". *Material Letters*. 57: 1723-1731.
- Damayanthi, R dan Martini, R. 2009. Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas Menggunakan Katalis Zeolit Y dan ZSM-5. *TP Chemical Technology*. 21(2): 1-8.

- Dyah, P. S. 2011. *Produksi Biodiesel dari Mikroalga Chlorella sp dengan Metode Esterifikasi In-Situ*. (Tesis). Universitas Diponegoro. Jawa Tengah. 45 hlm.
- Endalew, A. K., Kiros, Y., and Zanzi, R. 2011. Heterogeneous Catalysis for Biodiesel Production From *Jatropha curcas* oil (JCO). *Journal of Energy Science Direct*. 36(5): 2693-2700.
- Evangelista, J., Thiago, P. C., Valter, J. F., and Ana, C. F. C. 2012. Synthesis of Alumina Impregnated with Potassium Iodide Catalyst for Biodiesel Production from Rice Bran Oil. *Fuel Processing Technology*. 104: 90–95.
- Franus, W. 2012. Characterization of X-Type Zeolite Prepared From Coal Fly Ash. *Journal Original Research*. 21(2): 337-343.
- Frenzer, G. and Maier, W. F. 2006. Amorphorous Poursous Mixed Oxides: Sol-Gel Ways to a Highly Versatile Class of Materials and Catalysts. *Annual Review of Materials Research*. 36: 281-331.
- Georgiev, D., Bogdanov, K. Angelova, I. Markovska, and Y. Hristov. 2009. Synthetic Zeolites-Structure, Classification, Current Trends In Zeolite Synthesis Review. *Technical Studies*. 7: 1-5.
- Hamdan, H. 1992. *Introduction to Zeolites Synthesis, Characterization, and Modification*. Universiti Teknologi Malaysia. Kuala Lumpur. 54 p.
- Hanawalt, J.D., and Rinn, H.W. 1936. Identification of Crystalline Materials; Classification and Use of X-Ray Diffraction Patterns. *Industrial and Engineering Chemistry*. 8: 244-247.
- Hananto, F. S., D. R. Santoso, and Julius. 2011. Application of Piezoelectric Material Film PVDF (Polyvenylidene Flouride) as Liquid Viscosity Sensor. *Journal of Neutrino*. 3(2): 129-142.
- Kementerian Pertanian. 2016. *Outlook Kelapa Sawit*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal. Jakarta. 94 hlm.

- Kenneth J. Balkus, Jr., and Kieu T. Ly. 1991. The Preparation and Characterization of an X-Type Zeolite. *Journal of Chemical Education*. 10: 141–151.
- Leofanti, G., Tozzola, G., Padovan, G. Bordiga, S.P, and Zecchina, A. 1997. Catalyst Characterization: Application. *Catalyst Today*. 34: 329-352.
- Manalu, N. 2017. *Pengolahan Campuran Bagas Tebu dan Minyak Biji Karet Menjadi Bahan Bakar Cair (Liquid Fuel) Dengan Metode Pirolisis Menggunakan Zeolit-X Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 1-82.
- Mediasari, R. 2015. *Pengembangan Zeolit Sintetik Berbasis Silika Sekam Padi dengan Metode Elektrokimia dan Aplikasinya Sebagai Katalis untuk Perengkahan Minyak Nabati Secara Pirolisis*. (Tesis). Departemen Kimia FMIPA Universitas Lampung. Bandar Lampung. 6-7.
- Mockovčiaková, A., Matik, M., Orolínová, Z., Hudec, P., and Kmecova, E. 2007. Structural characteristics of modified natural zeolite. *Journal Porous Mater*. 15: 559-564.
- Oster. 2015. *Chemical Composition Limits of Aluminium Purity Grades & Alloys*. Oster. America.
- Ozdemir, O.D and Sabriye, P. 2013. Zeolite X Synthesis with Different Sources. *International Journal of Chemical, Environment, & Biological Sciences*. 1: 229-232.
- Pandiangan, K. D. and Simanjuntak, W. 2013. Transesterification of Coconut Oil Using Dimethyl Carbonate and $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ Heterogeneous Catalyst. *Indonesian Journal of Chemistry*. 13(1): 47-52.
- Pandiangan, K. D., W. Simanjuntak, S.Arief and N. Jamarun. 2017. Synthesis of Zeolite X from Rice Husk Silica and Aluminum Metal as a Catalyst for Transesterification of Palm Oil. *Journal of Material and Environmental Sciences*. 8: 1797-1802.

- Pandiangan, K. D. 2017. *Sintesis Katalis CaO dan MgO Berpendukung Silika Sekam Padi Untuk Transesterifikasi Minyak Biji Karet*. (Disertasi). Universitas Andalas. 54-55.
- Park, S., Jae-Kyung Yang, Jong-Ho Kim, Chang-Bock Chung and Gon Seo. 2015. Eco-friendly synthesis of zeolite A from synthesis cakes prepared by removing the liquid phase of aged synthesis mixtures. *Green Chemistry*. 17: 3571-3578.
- Prasad, R., and Pandey, M. 2012. Rice Husk Ash As a Renewable Source For The Production of Value Added Silica Gel And Its Application: An Overview. *Bulletin Of Chemical Reaction Engineering And Catalyst*. 7: 1-25.
- Pratiwi. 2018. *Pengolahan Campuran Bagas Tebu dan Minyak Jarak Kaliki (Ricinus communis L.) Menjadi Liquid Fuel dengan Metode Pirolisis Menggunakan Zeolit Sintetik Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis*. (Thesis). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 1-88.
- Puspitaningati, S. R., Permatasari, R., Gunardi, I. 2013. Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Dengan Menggunakan Katalis Berpromotor Ganda Berpenyangga γ -Alumina (CaO/KI/ γ -Al₂O₃) Dalam Reaktor *Fluidized Bed*. *Jurnal Teknik Pomits*. 1(2): 2301-9271.
- Saputra, R. 2006. *Pemanfaatan Zeolit Sintesis Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri*. Yogyakarta: UGM.
- Saraswati, I. 2015. Sintesis Zeolit-A dari Kaca. *Jurnal Sains dan Matematika*. 23(4): 112-115.
- Shamsul, S. N., S. K. Kamarudin, and N. A. Rahman. 2017. Conversion of Bio-Oil to Bio Gasoline Via Pyrolysis and Hydrothermal: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 80: 538-549.
- Simanjuntak, W. and S. Sembiring. 2016. The Use of Liquid Smoke as a Substitute for Nitric Acid for Extraction of Amorphous silica from Rice husk through Sol - Gel Route. *Oriental Journal of Chemistry*. 32(4): 2079-2085.

- Simanjuntak, W., S. Sembiring, P. Manurung, R. T. M. Situmeang, and I. M. Low. 2013. Characteristics of Aluminosilicates Prepared from Rice Husk Silica and Aluminum Metal. *Ceramic International*. 39: 9369-9375.
- Simanjuntak, W., S. Sembiring, K. D. Pandiangan, E. Pratiwi, and F. Syani. 2017. Hydrocarbon Rich Liquid Fuel Produced by Co-pyrolysis of Sugarcane Bagasse and Rubber Seed Oil Using Aluminosilicates Derived from Rice Husk Silica and Aluminum Metal as Catalyst. *Oriental Journal of Chemistry*. 33(6): 3218-3224.
- Simanjuntak, A. 2020. *Studi Proses Pirolisis Campuran Bagas Tebu dan Minyak Biji Karet Menjadi Liquid Fuel Menggunakan Zeolit-X Sebagai Katalis*. (Tesis). Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Lampung. Lampung. 92 hlm.
- Thammavong S. 2003. *Studies of Synthesis, Kinetics, and Particle Size of Zeolite X from Narathiwat Kaolin*. (Thesis). Degree of Master of Science in Chemistry Suranaree University of Technology. Thailand. 5-6.
- Wardan, S. dan A. Zainal. 2003. *Bahan Bakar dan Pelumas*. Fakultas Teknik UNY. Yogyakarta. 56 hlm.
- Wardana, N. Y., N. Caroko, dan Thoharudin. 2016. Pirolisis Lambat Campuran Cangkang Sawit dan Plastik dengan Katalis Zeolit Alam. *Jurnal Teknik Industri*. 22(5): 361-366.
- Widayat., D. P., A. Sadikky., Anggraeni, H. 2012. Proses Produksi Katalis Zeolit X dan Uji Aktivitas dalam Proses Penukaran Ion Kalsium. *Jurnal Teknik Kimia FT Universitas Diponegoro*. 33(1): 1-5.
- Wijanarko, A., Mawardi, D. A., dan Nasikin, M. 2006. Produksi Biogasoline dari Minyak Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik dengan Katalis γ - Alumina. *Makara Teknologi*. 10(2): 51-60.
- Wu, H., Junhua, Z., Qin, W., Jilu, Z., and Jianan, Z. 2012. Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel Using Zeolite Supported CaO as Strong Base Catalysts. *Fuel Processing Technology*. 109: 13–18.

Zhang, Xu., Dingxing, T., Min, Z., and Renchun, Y. 2013. Synthesis of NaX Zeolite : Influence of Crystallization Time, Temperature and Batch Molar Ratio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ On The Particulate Properties of Zeolite Crystals. *Powder Technology*. 235: 322-328.