

***UPGRADING BIO-CRUDE OIL* HASIL PIROLISIS MINYAK KELAPA  
SAWIT MENJADI *BIOGASOLINE* MENGGUNAKAN ZEOLIT-A  
TERPROTONASI (H-A) SEBAGAI KATALIS**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Eka Anggun Surani**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

## ABSTRAK

### **UPGRADING BIO-CRUDE OIL HASIL PIROLISIS MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI BIOGASOLINE MENGGUNAKAN ZEOLIT-A TERPROTONASI (H-A) SEBAGAI KATALIS**

Oleh

**EKA ANGGUN SURANI**

Pada penelitian ini, telah dilakukan sintesis zeolit-A dari silika sekam padi dan aluminium foil yang kemudian di modifikasi dengan metode ion *exchange* menggunakan amonium nitrat menjadi zeolit-A terprotonasi (H-A) dengan variasi konsentrasi yakni 2; 2,5; 3; dan 3,5 M sebagai katalis *upgrading bio-crude oil* (BCO) hasil pirolisis minyak kelapa sawit menjadi *biogasoline*. Produk hasil ion *exchange* dispesifikkan sebagai HA<sub>1</sub>, HA<sub>2</sub>, HA<sub>3</sub>, dan HA<sub>4</sub>. Analisis XRD menunjukkan adanya kristalin dan amorf di zeolit-A dan zeolit H-A tidak mengubah fasa kristalin dan morfologi permukaan pada zeolit-A. Analisis SEM mengidentifikasi morfologi ditandai dengan adanya partikel berbentuk kubus. Hasil analisis XRF mengetahui komposisi unsur Zeolit-A memiliki komposisi Na sebesar 1,589% dan Zeolit HA<sub>4</sub> memiliki nilai konversi tertinggi ion Na menjadi H sebesar 91%. Analisis FTIR mengetahui gugus-gugus fungsi dalam sampel dan mengidentifikasi jenis situs asam zeolit-A dan zeolit H-A memiliki situs asam Brønsted-Lowry. Nilai keasaman terbesar yaitu katalis zeolit HA<sub>4</sub> yaitu sebesar  $6,2 \times 10^{-1}$  mmol/g. BCO hasil pirolisis menggunakan katalis HA<sub>2</sub> memiliki kandungan hidrokarbon sebesar 100% dengan kandungan *biogasoline* (C<sub>5</sub>-C<sub>12</sub>) sebesar 49,02%.

Kata kunci: Zeolit-A terprotonasi, ion *exchange*, pirolisis, *bio-crude oil* (BCO), *biogasoline*.

## **ABSTRACT**

### **UPGRADING OF BIO-CRUDE OIL FROM PYROLYSIS OF PALM OIL INTO BIOGASOLINE USING PROTONATED ZEOLITE A (H-A) AS CATALYST**

**By**

**EKA ANGGUN SURANI**

In this study, the synthesis of zeolite-A from rice husk silica and aluminum foil was carried out, which was then modified by the ion exchange method using ammonium nitrate to become protonated zeolite-A (H-A) with a concentration variation of 2; 2,5; 3; and 3,5 M as a catalyst for upgrading bio-crude oil (BCO) resulting from the pyrolysis of palm oil into biogasoline. The resulting ion exchange products are specified as HA<sub>1</sub>, HA<sub>2</sub>, HA<sub>3</sub>, and HA<sub>4</sub>. XRD analysis showed that the presence of crystalline and amorphous in zeolite-A and zeolite H-A did not change the crystalline phase and surface morphology of zeolite-A. XRD analysis showed that the presence of crystalline and amorphous in zeolite-A and zeolite H-A did not change the crystalline phase and surface morphology of zeolite-A. SEM analysis identified morphology characterized by the presence of cube-shaped particles. The results of XRF analysis found that the elemental composition of Zeolite-A had a Na composition of 1,589%, and Zeolite HA<sub>4</sub> had the highest conversion value of Na to H ions of 91%. FTIR analysis identified the functional groups in the sample and identified the type of acid site zeolite-A, and zeolite H-A had Brønsted-Lowry acid sites. The highest acidity value was HA<sub>4</sub> zeolite catalyst, which was  $6,2 \times 10^{-1}$  mmol/g. BCO from pyrolysis using HA<sub>2</sub> catalyst has a hydrocarbon content of 100% with a biogasoline (C<sub>5</sub>-C<sub>12</sub>) content of 49,02%.

**Keywords:** Protonated Zeolite-A, ion exchange, pyrolysis, bio-crude oil (BCO), biogasoline.

**UPGRADING BIO-CRUDE OIL HASIL PIROLISIS MINYAK KELAPA  
SAWIT MENJADI BIOGASOLINE MENGGUNAKAN ZEOLIT-A  
TERPROTONASI (H-A) SEBAGAI KATALIS**

Oleh

**Eka Anggun Surani**

**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  
2022**

Judul Skripsi : **UPGRADING BIO-CRUDE OIL HASIL PIROLISIS  
MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI BIOGASOLINE  
MENGUNAKAN ZEOLIT-A TERPROTONASI  
(H-A) SEBAGAI KATALIS**

Nama Mahasiswa : **Eka Anggun Surani**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817011049**

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. Komisi Pembimbing

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

**Prof. Rudy T. M. Situmeang, Ph.D.**  
NIP 19600616 198811 1 001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Mulyono".

**Mulyono, Ph.D.**  
NIP 19740611 200003 1 002



**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

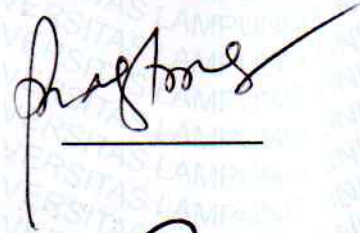
Ketua

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



Sekretaris

: **Prof. Rudy T. M. Situmeang, Ph.D.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Satripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.**



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 : **13 Oktober 2022**

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Eka Anggun Surani  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011049  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “*Upgrading Bio-Crude Oil* Hasil Pirolisis Minyak Kelapa Sawit menjadi *Biogasoline* menggunakan Zeolit-A Terprotonasi (H-A) sebagai Katalis” adalah benar hasil karya sendiri dan tidak pernah digunakan dan diterima sebagai syarat penyelesaian studi pada universitas ini. Saya tidak keberatan jika data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai kesepakatan.

Bandar Lampung, 14 Oktober 2022

Yang Menyatakan



Eka Anggun Surani

NPM.1817011049

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis bernama Eka Anggun Surani. Lahir di Karang Endah pada tanggal 25 Maret 2001 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan suami istri bapak Muhyamroni dan Ibu Sumarsih.

Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari SD Negeri 3 Karang Endah (2006-2012), SMP Negeri 5 Terbanggi Besar (2012-2015), SMA Negeri 1 Seputih Mataram (2015-2018) dan mulai tahun 2018 hingga penulisan skripsi ini, penulis melanjutkan ke perguruan tinggi di Jurusan S1 Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selain belajar di bangku kuliah, penulis juga aktif berorganisasi. Organisasi yang pernah penulis ikuti diantaranya Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Universitas Lampung sebagai kader muda himaki kepengurusan tahun 2018 dan anggota bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi (KPO) di tahun 2019-2020 dan UKM Penelitian UNiversitas Lampung sebagai anggota departemen riset dan penalaran kepengurusan 2020 dan sekretaris umum kepengurusan tahun 2021. Pada semester 5 tahun 2020, penulis mendapatkan beasiswa Badan Amil Zakat Nasional (Baznas) dan pada tahun 2021 mendapatkan beasiswa Adaro Foundation serta asisten praktikum kimia anorganik/fisik pada tahun 2021 dan kimia dasar pada tahun 2021-2022. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti berbagai kegiatan kepanitian dan perlombaan. Pada tahun 2019, penulis mengikuti kepanitian Panitia Khusus (Pansus) tingkat Fakultas MIPA sebagai koordinator Humas dan Publikasi, pada tahun 2020 menjadi Bendahara Pelaksana kegiatan Kader Muda Himaki (KAMI) Himpunan Mahasiswa Kimia dan menjadi



sekretaris pelaksana Hibah Pengabdian Masyarakat tingkat Universitas. Pada tahun 2020 dan 2021 penulis mendapatkan dana hibah Program Mahasiswa Wirausaha (PMW). Pada tahun 2020, penulis mendapatkan hibah pengabdian sekolah menulis daring Esai dan Karya Tulis Ilmiah untuk siswa SMA/MA/SMK di Lampung. Pada tahun 2021, penulis berhasil menjadi juara 1 dalam perlombaan kompetisi esai nasional tingkat nasional yang diselenggarakan oleh Universitas Lampung. Pada tahun 2022, penulis berhasil menjadi finalis Lomba Karya Tulis Ilmiah (LKTI) tingkat nasional yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Kimia FMIPA UNY.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawab kepada:

Kedua orang tuaku,  
Bapak Muhyamroni dan Ibu Sumarsih yang telah memberikan kasih dan sayang,  
cinta, do'a, dukungan, dan motivasinya.

Adekku  
Reni Sinta Dewi

Pembimbing Penelitianku,  
Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.  
Bapak Prof. Rudy T. M. Situmeang, Ph.D.

Orang terkasih, Sahabat, Kerabat, dan Teman

Almameter Tercinta  
Universitas Lampung

## **MOTTO**

“Hidup itu adalah komitmen yang harus dijalani  
dengan penuh target”

“...dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah  
telah berbuat baik kepadamu...”  
(Q.S. Al-Qashash: 77)

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

“Kegagalan tidak akan pernah mengalahkan keinginan kuat  
untuk mencapai kesuksesan”  
(OG Mandino)

## SANWACANA

Puji syukur atas kehadiran Allah subhanahuwata'ala atas segala rahmat, karunia dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Sholawat dan salam juga tak lupa penulis haturkan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW., keluarga beserta sahabatnya. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia FMIPA Unila. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua, adik dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk penulis.
2. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku pembimbing pertama penelitian dan sekaligus pembimbing akademik atas segala bimbingan, motivasi, nasehat, bantuan, saran, kesabarannya dan seluruh kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Rudy T. M. Situmeang, Ph.D. selaku pembimbing kedua penelitian atas bimbingan, motivasi, bantuan, nasihat, saran dan seluruh kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. selaku pembahas penelitian atas segala nasihat, kritik dan saran, yang membangun dalam skripsi ini.
5. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
6. Segenap staff pengajar dan karyawan khususnya Jurusan Kimia dan FMIPA Universitas Lampung.
7. Teman-teman satu grup penelitian "Bimbingan Pak Ton" Aryani dan Annida (Noni) yang selalu membantu dan menemani selama penelitian hingga akhir.
8. Sahabat penulis, Eni, Atika dan Armidla yang selalu menemani dan mendengarkan cerita penulis.



9. Kakak-kakak, temen-temen dan adik-adik di laboratorium polimer: Kak Diska, Kak Laila, Mutiq, Alya, Randi, Chori, Sahrul, Elis, Zahra, Eki, Quntum, Devy dan yang lainnya yang telah membantu, menemani dan belajar bersama selama penelitian berlangsung.
10. Kak Tika dan Kak Aulia yang membantu, membagi ilmu kepada penulis dalam penelitian dan penulisan skripsi ini serta memiliki peran penting dalam perkuliahan penulis.
11. Keluarga kimia 2018 yang telah kebersamai sejak hari pertama menjadi mahasiswa.
12. Keluarga besar UKM Penelitian Unila yang telah memberikan banyak pelajaran dan pengalaman berharga kepada penulis.
13. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) yang telah memberikan banyak pelajaran dan pengalaman berharga kepada penulis.
14. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Atas segala kebaikan yang telah diberikan, semoga Tuhan Yang Maha Esa membalasnya dengan pahala dan kebaikan yang berlipat ganda. Aamiin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, namun penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna khususnya bagi Jurusan Kimia, rekan-rekan mahasiswa kimia dan pembaca pada umumnya.

Badar Lampung, 13 Oktober 2022

Penulis

**Eka Anggun Surani**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	3
1.3. Manfaat Penelitian .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Metode Konversi Biomassa menjadi Energi.....	5
2.1.1. Metode Biokimia .....	6
2.1.2. Metode Kimia .....	7
2.1.3. Metode Termokimia .....	7
2.2. Pirolisis Biomassa.....	8
2.3. Metode <i>Upgrading</i> BCO.....	11
2.3.1. Jenis-jenis Metode <i>Upgrading</i> .....	12
2.3.2. <i>Catalytic Upgrading</i> .....	12
2.4. Katalis Untuk <i>Upgrading</i> BCO .....	13
2.4.1. Zeolit-A .....	14
2.5. Karakterisasi Zeolit.....	15
2.5.1. Analisis Keasaman .....	15
2.5.2. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) .....	17
2.5.3. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	19
2.5.4. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	21
2.6. Komposisi <i>Bio-Crude Oil</i> (BCO) .....	22
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	27
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2. Alat dan Bahan.....	27
3.2.1. Alat Penelitian .....	27
3.2.2. Bahan Penelitian .....	28
3.3. Prosedur Penelitian .....	28

3.3.1. Ekstraksi Silika Sekam Padi .....	28
3.3.2. Sintesis Zeolit-A dengan Metode Hidrotermal.....	29
3.3.3. Modifikasi Zeolit Sintetik A dengan Metode <i>Ion Exchange</i> .....	29
3.3.4. Karakterisasi Katalis Zeolit Sintetik A dan Zeolit Sintetik Terprotonasi (H-A).....	30
3.3.5. Uji Aktivitas Zeolit Sintetik A dan Zeolit Sintetik Terprotonasi (H- A).....	31
3.3.6. Karakterisasi Produk Hasil Pirolisis.....	31
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1. Ekstraksi Silika Sekam Padi .....	33
4.2. Zeolit-A.....	35
4.3. Karakteristik Zeolit-A.....	35
4.4. Zeolit-A Terprotonasi (H-A).....	39
4.5. Karakteristik Zeolit-A Terprotonasi (H-A).....	39
4.6. Uji Aktivitas Zeolit-A dan Zeolit-A Terprotonasi (H-A) .....	46
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>54</b>
5.1. Simpulan .....	54
5.2. Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>64</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. BCO dengan komposisinya dari berbagai penelitian.....	25
2. Perbandingan data XRD standard IZA dan zeolit-A hasil sintesis .....	37
3. Data XRF komposisi zeolit induk dan protonasi zeolit .....	40
4. Perbandingan data XRD standar IZA dan zeolit-A terprotonasi .....	42
5. Keasaman katalis zeolit-A dan zeolit-A terprotonasi .....	44
6. Komposisi BCO hasil pirolisis minyak kelapa sawit.....	48
7. Komposisi relatif <i>biogasoline</i> hasil <i>catalytic upgrading</i> BCO dengan berbagai katalis .....	51
8. Data pengukuran keasaman katalis dengan metode gravimetri .....	67
9. Komposisi BCO hasil hasil pirolisis dengan katalis zeolit-A.....	69
10. Komposisi BCO hasil hasil pirolisis dengan katalis HA <sub>1</sub> .....	70
11. Komposisi BCO hasil hasil pirolisis dengan katalis HA <sub>2</sub> .....	71
12. Komposisi BCO hasil hasil pirolisis dengan katalis HA <sub>3</sub> .....	72
13. Komposisi BCO hasil hasil pirolisis dengan katalis HA <sub>4</sub> .....	73
14. Nilai kristalinitas zeolit-A dan zeolit-A terprotonasi (HA <sub>1</sub> , HA <sub>2</sub> , HA <sub>3</sub> dan HA <sub>4</sub> ) .....	74



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Metode konversi biomassa menjadi energi (Sharma <i>et al.</i> , 2014).....	5
2. Jalur Reaksi Pirolisis Biomassa (Hu <i>and</i> Gholizadeh, 2019). ....	8
3. Kerangka zeolit-A (International Zeolite Association (IZA), 2017). ....	14
4. Skema prinsip FTIR. ....	16
5. Spektrum FTIR zeolit A (Keerthana <i>et al.</i> , 2016).....	17
6. Skema instrumen XRF (Chen <i>et al.</i> , 2019).....	18
7. Ilustrasi difraksi sinar-X (Setiabudi dkk., 2012).....	20
8. Difraktogram XRD standar zeolit-A ( <i>International Zeolite Association (IZA)</i> , 2017). ....	21
9. Skema instrumen SEM (Setiabudi <i>et al.</i> , 2012).....	22
10. Morfologi SEM zeolit-A (Simanjuntak <i>et al.</i> , 2021). ....	22
11. Skema prinsip kerja GC-MS (Kitson <i>et al.</i> , 1996).....	23
12. Kromatogram GC BCO campuran onggok dan minyak biji karet .....	24
13. Rangkaian proses penelitian.....	32
14. Proses ekstraksi silika sekam padi. ....	33
15. Tahapan sintesis zeolit-A .....	35
16. Difraktogram XRD Zeolit-A.....	36
17. Difraktogram zeolit-A dibandingkan dengan standard IZA Zeolit-A. ....	37
18. Mikrograf SEM zeolit-A dengan perbesaran (a) 5000 x dan (b) 15.000 x ...	38
19. Proses pembentukan zeolit-A terprotonasi menggunakan metode ion <i>exchange</i> . ....	39
20. Difraktogram XRD zeolit (a) HA <sub>1</sub> , (b) HA <sub>2</sub> , (c) HA <sub>3</sub> dan (d) HA <sub>4</sub> . ....	41
21. Pola difraktogram XRD zeolit (a) standar IZA, (b) HA <sub>1</sub> , (c) HA <sub>2</sub> , (d) HA <sub>3</sub> dan (e) HA <sub>4</sub> . ....	42
22. Mikrograf SEM zeolit (a) HA <sub>1</sub> , (b) HA <sub>2</sub> , (c) HA <sub>3</sub> dan (d) HA <sub>4</sub> . ....	44
23. Spektrum FTIR zeolit (a) A, (b) HA <sub>1</sub> , (b) HA <sub>2</sub> , (b) HA <sub>3</sub> dan (b) HA <sub>4</sub> . ....	46
24. Rangkaian alat pirolisis. ....	47
25. Kromatogram GC BCO hasil pirolisis minyak kelapa sawit. ....	48
26. Kromatogram GC dan komposisi relatif BCO diperoleh menggunakan hasil pirolisis dengan berbagai katalis (a) Zeolit-A, (b) HA <sub>1</sub> , (c) HA <sub>2</sub> , (d) HA <sub>3</sub> dan (e) HA <sub>4</sub> .....	51
27. Grafik perbandingan tiap komponen senyawa kimia dalam sampel BCO dan <i>biogasoline</i> . ....	52
28. Hasil pirolisis BCO (a) tanpa katalis, (b) Zeolit-A, (c) HA <sub>1</sub> , (d) HA <sub>2</sub> , (e) HA <sub>3</sub> dan (f) HA <sub>4</sub> . ....	53

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Ketertarikan pada sumber energi baru terbarukan (EBT) sebagai respons terhadap menipisnya cadangan minyak bumi, serta peningkatan kesadaran akan konsekuensi lingkungan dari pembakaran bahan bakar fosil, telah mendorong pengembangan sejumlah teknologi untuk produksi energi dari berbagai bahan baku terbarukan. Dalam konteks pengembangan EBT, biomassa telah menjadi pusat perhatian di seluruh dunia, karena jumlahnya yang melimpah dan dapat diperbarui, serta kemajuan teknologi untuk konversi biomassa menjadi sumber energi yang secara umum dikenal sebagai bioenergi. Salah satu metode konversi biomassa menjadi energi yang terus menarik minat para peneliti seluruh dunia adalah pirolisis. Pirolisis merupakan proses perengkahan molekul besar menjadi molekul yang lebih sederhana dengan pemanasan pada suhu yang relatif tinggi. Proses pirolisis umumnya dilakukan pada suhu 300–450 °C dan menghasilkan tiga jenis produk, yakni gas, cairan dan padatan. Produk cair dari pirolisis biomassa secara umum dikenal sebagai *bio-crude oil* (BCO).

Metode pirolisis telah diterapkan untuk berbagai biomassa seperti jerami padi (Chen *et al.*, 2019), serbuk gergaji (Che *et al.*, 2019), ampas tebu (Simanjuntak *et al.*, 2017), onggok dan minyak biji karet (Simanjuntak *et al.*, 2019) serta minyak kelapa sawit (Supriyanto *et al.*, 2018). Hasil penelitian menunjukkan bahwa BCO tersusun dari berbagai senyawa organik yang tidak baik sebagai bahan bakar, seperti asam karboksilat, aldehida, keton dan fenol (Simanjuntak *et al.*, 2017; Supriyanto *et al.*, 2018; Simanjuntak *et al.*, 2019).

Karena adanya komponen yang tidak baik sebagai bahan bakar BCO tidak dapat digunakan secara langsung, sehingga perlu diolah lebih lanjut untuk meningkatkan mutunya agar memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar. Metode pengolahan lanjut ini dikenal sebagai proses *upgrading*, dengan salah satu target adalah *biogasoline*. *Biogasoline* mempunyai kesamaan dengan *gasoline* petrokimia, yaitu terdiri dari senyawa hidrokarbon dengan panjang rantai karbon dari 5 hingga 12 (C<sub>5</sub>-C<sub>12</sub>), sehingga dapat digunakan sebagai alternatif *gasoline* petrokimia.

Salah satu metode *upgrading* yang terus dikembangkan adalah metode *catalytic upgrading*, yakni pirolisis BCO dengan bantuan katalis untuk mengubah komponen BCO menjadi *biogasoline*. Dalam proses ini katalis memegang peranan penting karena menentukan jenis senyawa yang terbentuk. Dalam penelitian (Jaya *et al.*, 2012) *Upgrading Crude Bio-Oil* (CBO) dari biomassa menjadi *Upgraded Bio-Oil* (UBO) dengan katalis Ni/lempung dapat meningkatkan kualitas fisik (angka asam serta nilai kalor), *yield bio-oil* tertinggi didapatkan sebesar 79,25% pada rasio etanol : *bio-oil* 1:1 dan temperatur reaksi 60 °C.

Dari berbagai zeolit sintetis yang telah dikembangkan, zeolit-A dikenal memiliki aplikasi yang bervariasi, di mana dua di antaranya adalah sebagai adsorben dan katalis. Sebagai katalis, zeolit ini telah digunakan untuk transesterifikasi minyak nabati menjadi biodiesel, yang merupakan bioenergi berbasis biomassa lainnya (Pandiangnan *et al.*, 2019; Volli and Purkait, 2015). Karena memiliki aplikasi yang luas, produksi zeolit-A terus dikembangkan dari berbagai bahan baku yang berbeda dengan metode hidrotermal antara lain zeolit alam Lampung (Ginting *et al.*, 2019), abu terbang batubara (Cardoso *et al.*, 2015), bubuk batu dan abu aluminium (Kuroki *et al.*, 2019), bentonit (Srilai *et al.*, 2020) serta silika sekam padi dan aluminium foil (Simanjuntak *et al.*, 2019).

Sifat lain yang menentukan kinerja suatu katalis adalah keasaman. Untuk zeolit, sifat ini dapat direkayasa dengan proses pertukaran kation untuk mengganti kation Na<sup>+</sup> dengan kation H<sup>+</sup>, sehingga keasaman katalis akan meningkat tergantung

pada jumlah pergantian yang terjadi. Contoh penerapan pertukaran kation yang telah diteliti adalah dilakukan Istadi *et al.* (2019) proses pertukaran ion  $\text{Na}^+$  menjadi katalis zeolit HY menurunkan aktivitas katalis terhadap proses perengkahan karena menurunkan luas permukaan dan kristalinitas katalis. Sehingga menghasilkan selektivitas hidrokarbon kisaran *gasoline* masing-masing mencapai 34,25% dan 13,96% ketika menggunakan katalis HY dan NaY, sedangkan konversi minyak sawit mencapai 99,11% dan 98,06%, ketika menggunakan katalis HY dan NaY. Hal ini menunjukkan bahwa keasaman zeolit berpengaruh terhadap peningkatan komposisi *biogasoline* yang dihasilkan.

Berdasarkan penjelasan di atas penelitian ini akan dilakukan sintesis zeolit-A (Na-A) dari silika sekam padi dan aluminium foil dengan metode hidrotermal. Pemilihan silika sekam padi sebagai bahan baku dikarenakan silika dari sekam padi memiliki kemurnian sekitar 95-99% dan mengandung silika dengan kadar yang cukup tinggi yakni 18 hingga 20% (Bakar *et al.*, 2016; Simanjuntak *et al.*, 2016). Silika sekam padi juga memiliki kelarutan yang tinggi dalam larutan alkalis sehingga dapat diekstraksi menggunakan larutan alkalis, seperti NaOH (Pandianan *et al.*, 2016). Aluminium foil memiliki kandungan aluminium yang sangat tinggi, yakni mencapai 98% harganya relatif murah, mudah diperoleh dan mudah larut dalam larutan alkali (Tanzania Bureau of Standards, 2020). Sehingga zeolit yang dihasilkan selanjutnya diprotonasi menggunakan larutan amonium nitrat dengan konsentrasi yang berbeda untuk menghasilkan zeolit-A terprotonasi (H-A). Zeolit Na-A dan zeolit H-A selanjutnya akan digunakan dalam proses *upgrading* katalitik BCO yang dihasilkan dari pirolisis minyak kelapa sawit.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- a. Menghasilkan zeolit Na-A dari silika sekam padi dan aluminium foil dengan metode hidrotermal.
- b. Menghasilkan zeolit H-A melalui proses pertukaran ion menggunakan larutan amonium nitrat dengan konsentrasi yang berbeda.



- c. Mendapatkan data tentang karakteristik zeolit yang disintesis meliputi keasaman, komposisi, struktur, serta morfologi permukaan.
- d. Mendapatkan data tentang komposisi *biogasoline* yang dihasilkan dari proses *catalytic upgrading* BCO hasil pirolisis minyak kelapa sawit menggunakan zeolit yang disintesis sebagai katalis.

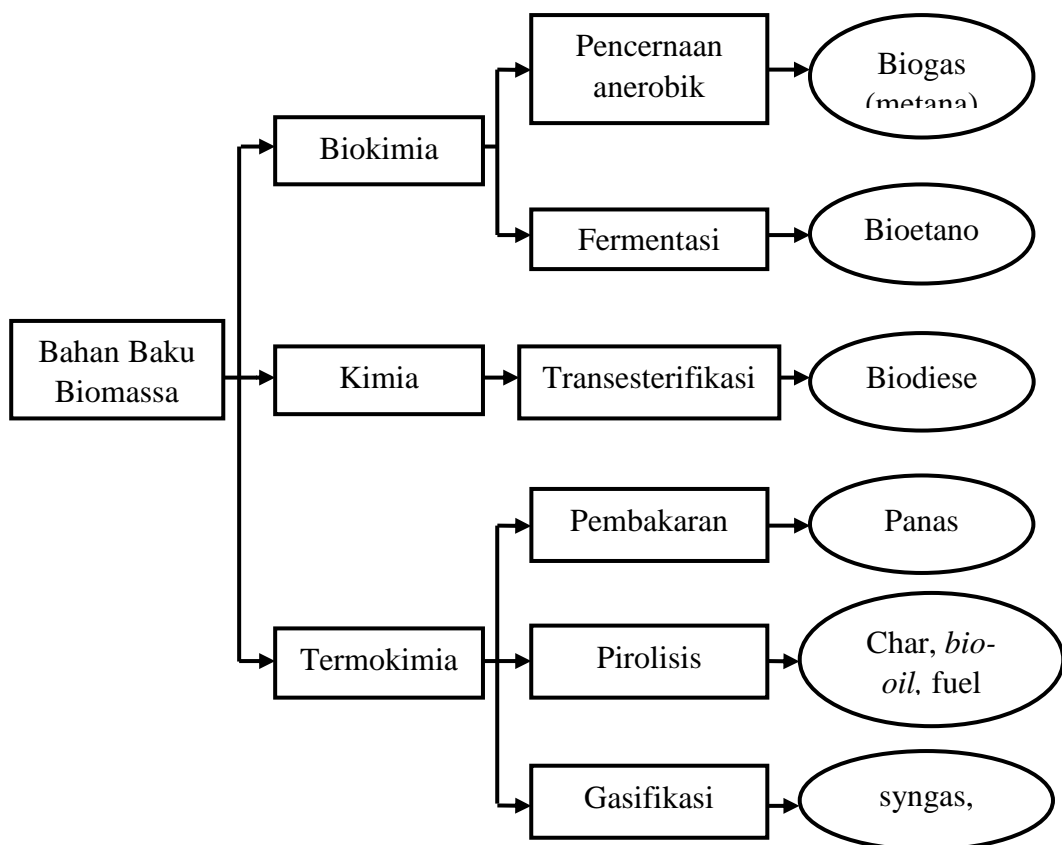
### **1.3. Manfaat Penelitian**

Selain kontribusi terhadap perkembangan iptek, khususnya teknologi pembuatan *biogasoline*, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan nilai tambah dari sekam padi melalui pemanfaatannya sebagai sumber silika.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Metode Konversi Biomassa menjadi Energi

Konversi biomassa menjadi energi dapat dilakukan dengan beberapa cara dan menghasilkan EBT yang berbeda, seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Metode konversi biomassa menjadi energi (Sharma *et al.*, 2014).

### 2.1.1. Metode Biokimia

Metode biokimia merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar. Pencernaan anaerobik (*anaerobic digestion*), kondisi ini hampir semua terjadi pada pembusukan bahan biologis, di mana hanya sedikit diperlukan panas, tidak ada aliran udara atau masukan oksigen (anaerob) dan basah. Hasil akhirnya adalah gas metana dan karbon dioksida. Gas metana yang digunakan dan dibersihkan dari gas-gas yang tidak diperlukan, akan menjadi bahan bakar untuk mesin gas yang akan menghasilkan listrik. Contoh proses yang termasuk ke dalam proses biokimia adalah hidrolisis, fermentasi dan *anaerobic digestion*. *Anaerobic digestion* adalah penguraian bahan organik atau selulosa menjadi  $\text{CH}_4$  dan gas lain melalui proses biokimia.

Selain *anaerobic digestion*, proses pembuatan etanol dari biomassa tergolong dalam konversi biokimiawi. Biomassa yang kaya dengan karbohidrat atau glukosa dapat difermentasi sehingga terurai menjadi etanol dan  $\text{CO}_2$ . Akan tetapi, karbohidrat harus mengalami penguraian (hidrolisa) terlebih dahulu menjadi glukosa. Etanol hasil fermentasi pada umumnya mempunyai kadar air yang tinggi dan tidak sesuai untuk pemanfaatannya sebagai bahan bakar pengganti bensin. Etanol ini harus didestilasi sedemikian rupa mencapai kadar etanol di atas 99,5% (Parinduri *and* Parinduri, 2020). Menurut penelitian dari Brethauer *and* Wyman, (2010) fermentasi menggunakan ragi atau mikroorganisme lain untuk menghasilkan alkohol atau asam organik. Lignoselulosa dari biomassa juga diubah menjadi gula, umumnya oleh aksi asam mineral. Setelah gula sederhana dibentuk melalui asam atau enzimatis hidrolisis, gula difermentasi dengan menambahkan ragi atau mikroorganisme lain dalam proses fermentasi. Fermentasi sekarang digunakan untuk produksi biofuel komersial karena sistem berkelanjutan dapat memungkinkan produktivitas dan hasil yang lebih tinggi.

### 2.1.2. Metode Kimia

Metode kimia merupakan salah satu metode konversi biomassa menjadi energi yang dapat menghasilkan produk biodiesel dengan substrat terbatas. Metode kimia yaitu transesterifikasi yang dikenal dengan proses perubahan trigliserida menjadi ester yang lebih sederhana dengan menggunakan alkohol, terutama metanol, serta dibantu oleh adanya katalis. Pengaruh alkohol dan minyak terhadap rasio molar alkohol sebagai variabel utama dalam produksi dan pemurnian produk biodiesel mentah banyak menjadi pertimbangan. Sejumlah alkohol telah dieksplorasi untuk produksi biodiesel, akseptor yang paling banyak digunakan adalah metanol dan etanol karena alkohol rantai pendek memberikan konversi yang lebih baik dalam waktu reaksi yang sama (Pandiangan *et al.*, 2017). Proses transesterifikasi secara terperinci terbagi atas tiga tahap. Pertama, asam lemak trigliserida terurai menjadi asam lemak digliserida. Lalu asam lemak digliserida terurai kembali menjadi asam lemak monogliserida dan terakhir, asam lemak monogliserida terurai menjadi metil ester dan gliserol. Setiap tahap dalam reaksi tersebut bersifat reversibel (Ye *et al.*, 2016). Variabel kunci yang mempengaruhi transesterifikasi adalah waktu reaksi, rasio molar alkohol terhadap minyak, suhu dan tekanan reaksi. Katalis, kadar air dan kadar asam lemak bebas dalam lemak dan minyak (Pandiangan *et al.*, 2019).

### 2.1.3. Metode Termokimia

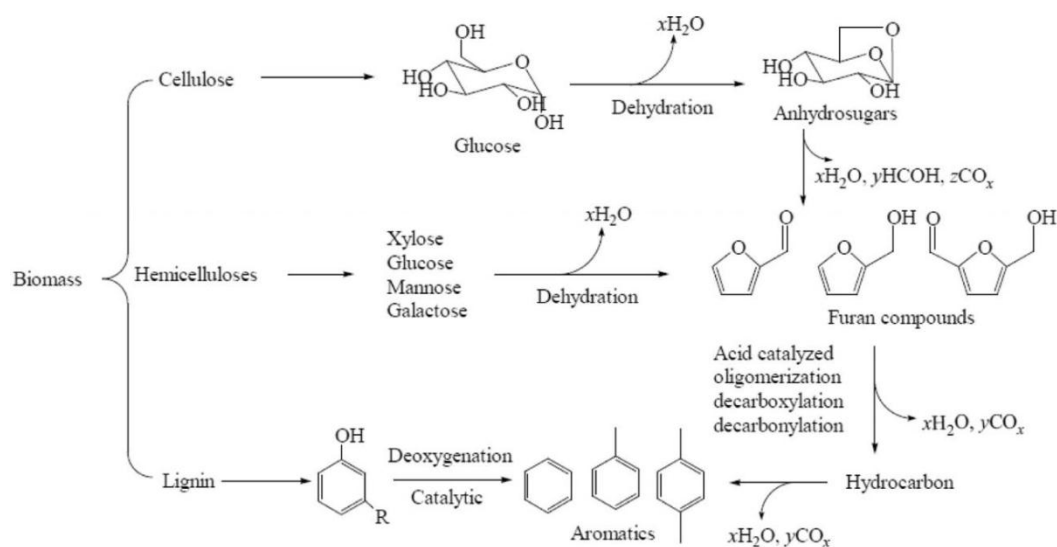
Metode termokimia merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar. Dalam proses termokimia dibedakan menjadi tiga jenis yaitu pembakaran (*combustion*), gasifikasi (*gasification*), pirolisa (*pyrolysis*) dan *direct liquification*. Pembakaran (*combustion*) adalah penggunaan biomassa yang dilakukan dengan cara langsung (*direct combustion*) membakarnya ke dalam tungku atau reaktor, kemudian panas yang muncul itu disalurkan untuk membakar boiler dan panas yang ada disalurkan untuk menggerakkan turbin dan akhirnya menghasilkan listrik. Proses pembakaran biomassa juga dapat melibatkan batubara bahan bakar campuran atau dikenal dengan istilah *co-firing*. Gasifikasi (*gasification*) adalah proses dari



bagian pembakaran namun biomassa yang digunakan ditempatkan pada lingkungan yang kurang oksigen dan dipacu untuk melepaskan kandungan gas dalam biomassa dan ditampung dalam jalur dan peralatan tersendiri. Pirolisa (*pyrolysis*) adalah bagian dari sistem gasifikasi. Namun proses pembakaran hanya parsial dan berhenti pada suhu yang lebih rendah (450-600 °C), sehingga mampu menghasilkan cairan atau minyak sebagai produknya kemudian digunakan sebagai bahan gaset untuk menghasilkan listrik. *Liquification* merupakan proses perubahan wujud dari gas ke cairan dengan proses kondensasi, biasanya melalui pendinginan, atau perubahan dari padat ke cairan dengan peleburan, bisa juga dengan pemanasan atau penggilingan dan pencampuran dengan cairan lain untuk memutuskan ikatan. Pada bidang energi *liquification* terjadi pada batubara dan gas menjadi bentuk cairan untuk menghemat transportasi dan memudahkan dalam pemanfaatan.

## 2.2. Pirolisis Biomassa

Pirolisis merupakan proses pemecahan senyawa organik molekul besar dengan bantuan panas dalam kondisi oksigen yang terbatas atau tanpa adanya oksigen. Dalam proses ini, ikatan kimia yang ada di dalam molekul besar akan terputus menghasilkan senyawa yang lebih sederhana. Berikut ini, reaksi yang terjadi pada pirolisis biomassa disajikan dalam Gambar 2.



**Gambar 2.** Jalur Reaksi Pirolisis Biomassa (Hu and Gholizadeh, 2019).

Pirolisis termasuk proses yang kompleks dan melibatkan sejumlah reaksi. Dari Gambar 2 dapat dijelaskan bahwa jalur reaksi pirolisis biomassa untuk setiap produk terdiri dari beberapa komponen yang berasal dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa terdiri dari homo polisakarida linier dari monomer selobiosa dan mencakup dua unit glukopiranososa yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik. Produk utama dari pirolisis selulosa adalah asam, alkohol, *anhydrosugars*, *char*, gas dan air.

Hemiselulosa adalah sekelompok polisakarida yang ditemukan di dinding sel tanaman dan dapat diekstraksi dari berbagai sumber tanaman dengan heterogenitas. Serat mikro selulosa terikat bersama oleh hemiselulosa, ini adalah *heteropolysacc arides* dengan komposisi yang berbeda di dalamnya tergantung pada jenis biomassa. Unit dasar hemiselulosa terdiri dari glukosa, galaktosa, manosa, xilosa, arabinosa dan asam glukuronat. Kandungannya dalam biomassa cukup besar. Selama pirolisis hemiselulosa, terjadi reaksi dekomposisi selulosa yang serupa pada suhu yang sama. Pada 220–315 °C, dekomposisi xilan terjadi dan sebagian besar diubah menjadi CO. Produk utama dari pirolisis katalitik adalah *bio-oil*, gas dan *char*. Dalam *bio-oil*, furan merupakan senyawa yang paling melimpah.

Lignin adalah komponen penguat dinding sel biomassa, yang terutama terbuat dari polimer unit propil fenol tersubstitusi hidroksil dan metoksi. Tergantung pada jenis biomassa, proporsi monomer lignin berbeda. Lignin tersusun atas unit-unit fenil propana, yaitu phidroksifenil (H), guaiasil (4-hidroksi-3-metoksifenil,G) dan siringil (3,5-dimetoksi-4-hidroksifenil,S). Berbagai macam ikatan dapat dilihat pada struktur lignin seperti ikatan eter (C–O) dan ikatan terkondensasi (C–C), sehingga struktur kimia lignin menjadi heterogen. Dari pirolisis lignin, produk gas, padat dan cair dapat tercapai. Produk gas meliputi CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>, HCHO, CH<sub>3</sub>CHO, CO, H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> merupakan komponen yang paling melimpah dalam fase gas.

Menurut Dermirbas (2019), proses pirolisis biomassa berlangsung dengan empat tahapan. Tahap pertama adalah perpindahan panas dari sumber panas hingga meningkatkan suhu bahan baku. Tahap kedua adalah inisiasi reaksi pirolisis primer memperoleh senyawa volatil dan pembentukan padatan. Lalu dilakukan kondensasi senyawa volatil memperoleh produk cair. Kemudian reaksi pirolisis sekunder dan tersier meliputi pembentukan ulang, rekombinasi radikal dan dehidrasi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi pirolisis adalah jenis biomassa, suhu pirolisis, suhu kondensasi primer, laju pemanasan, ukuran partikel, kadar air, jenis pirolisis, laju alir gas *inert* dan waktu. Suhu rendah, menengah dan tinggi masing-masing mendukung pembentukan *biochar*, *bio-oil* dan volatil (Sivamani *et al.*, 2018).

Berdasarkan laju pemanasan yang diterapkan, pirolisis dibedakan menjadi tiga cara yaitu pirolisis *slow pyrolysis*, *fast pyrolysis* dan *flash pyrolysis*. Metode *slow pyrolysis* adalah metode pirolisis dengan laju pemanasan yang kurang dari (0.1-1 °C/s) dan waktu yang relatif lama dari beberapa jam hingga hari pada suhu ~400 °C. Metode ini telah digunakan dalam penelitian sebelumnya untuk mengolah berbagai jenis biomassa, antara lain cangkang kopi (Setter *et al.*, 2020), bambu (Hernandez-Mena *et al.*, 2014), lobak (Onay and Koçkar, 2003a) dan tongkol jagung (Shariff *et al.*, 2016). Metode *slow pyrolysis* dapat menghasilkan BCO berkisar antara 25-30%, gas 25-35% dan *char* 30-40%. Secara umum hasil rendemen yang dicapai dengan *slow pyrolysis* lebih rendah dibanding dengan rendemen yang mampu dicapai dengan metode *fast pyrolysis* ataupun *flash pyrolysis*, namun *slow pyrolysis* memiliki kelebihan yakni dapat menggunakan perangkat yang sederhana dan relatif lebih murah (Dhyani and Bhaskar, 2019).

Metode *fast pyrolysis*, biomassa dipanaskan pada suhu ~500 °C dengan laju kenaikan suhu yang sangat tinggi (10-200 °C/detik) dalam waktu yang sangat singkat (1-2 detik). Metode ini juga telah dimanfaatkan untuk menghasilkan BCO dari beberapa jenis biomassa, antara lain minyak kelapa sawit (Qiao *et al.*, 2019), tandan kosong kelapa sawit (Chang, 2018), sekam padi (Cai *et al.*, 2019), bagas

tebu (Treedet *and* Suntivarakorn, 2017) dan minyak zaitun (Alcazar-Ruiz *et al.*, 2021). BCO yang dihasilkan pada *fast pyrolysis* menghasilkan rendemen yang lebih tinggi berkisar antara 60-75%, 13-20% gas dan 12-20% *char*. Kondisi penting yang harus dicapai pada *fast pyrolysis* antara lain tingkat perpindahan panas yang cepat pada partikel biomassa karena biomassa memiliki konduktivitas panas yang buruk, ukuran partikel kecil, kontrol kondisi reaksi pirolisis, waktu tinggal uap yang kecil (<2s) untuk meminimalkan *cracking* sekunder pada produk pirolisis. Hal tersebut dapat dicapai dengan perpindahan cepat produk pirolisis dari reaksi lingkungan, diikuti dengan kondensasi cepat ke produk cair (Dhyani *and* Bhaskar, 2019). Kondisi tersebut menyebabkan kelemahan dari *fast pyrolysis* yang menyebabkan biaya operasi lebih tinggi dibanding *slow pyrolysis*, memerlukan perangkat dengan teknologi yang lebih canggih, pengaturan suhu yang lebih rumit dan kondensor yang lebih mahal (Onay *and* Koçkar, 2003b).

Metode *flash pyrolysis* menggunakan laju pemanasan yang tinggi dengan suhu reaksi antara 450 °C hingga 1000 °C dan waktu tinggal gas yang sangat singkat (kurang dari 1 detik). Namun proses ini memiliki beberapa keterbatasan teknologi, misalnya: BCO yang dihasilkan memiliki stabilitas termal yang buruk dan bersifat korosif, terdapat padatan dalam BCO dan meningkatkan viskositas dari waktu ke waktu akibat *char* yang terdapat dalam BCO (Basu, 2010). Produk yang dihasilkan dari *flash pyrolysis* berupa 75% BCO, 13% gas dan 12% *char* (Dhyani *and* Bhaskar, 2019). Metode ini telah dimanfaatkan untuk pirolisis biomassa antara lain minyak jarak pagar (Raja *et al.*, 2010), batang lobak (Smets *et al.*, 2011), biji rami (Acikgoz *and* Kockar, 2007) dan serai (Madhu *et al.*, 2018).

### **2.3. Metode *Upgrading* BCO**

Adanya komponen yang tidak sesuai sebagai bahan bakar menjadi penghambat penggunaan BCO secara langsung sebagai sumber energi aplikasi, terutama untuk mesin. Karena kelemahan tersebut, BCO memerlukan pengolahan lanjut yang secara umum dikenal sebagai proses *upgrading*.

### 2.3.1. Jenis-jenis Metode *Upgrading*

Metode *upgrading* BCO dibedakan menjadi dua jenis yaitu secara fisik dan kimia/katalitik. Berdasarkan yang telah dilaporkan Ng *et al.* (2017) bahwa *upgrading* fisik secara umum dapat mengurangi dan mengontrol viskositas *bio-oil* dengan penambahan air dan pelarut. Hal ini dapat mengatasi kesulitan selama penanganan dan memompa *bio-oil*. Selain itu, bahan utama seperti arang dan padatan dapat dipisahkan menggunakan metode *upgrading* fisik seperti filtrasi gas panas. Kandungan arang dan padatan memiliki efek pada proses *bio-oil*, sehingga menyebabkan peningkatan viskositas dan penyumbatan. Metode *upgrading* fisik tidak cukup digunakan karena produk hasil *bio-oil* yang diperoleh kurang stabil dan sulit tercampur dengan bahan bakar hidrokarbon.

Oleh karena itu, perlu adanya metode *upgrading* BCO secara kimia/katalitik. Metode ini dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu *catalytic cracking/hydrocracking* dan *hydro treatment*. Metode *upgrading* kimia memerlukan surfaktan untuk membuat kedua komponen larut. Namun, ada beberapa kelemahan yakni biaya tinggi surfaktan, kebutuhan energi yang besar dan tingkat korosi yang tinggi pada mesin ketika campuran *bio-oil* dan solar digunakan. Sebagian dan seluruh deoksigenasi terkait dengan *catalytic cracking/hydrocracking* dan *hydrotreating* dimana komponen teroksigenasi dalam *bio-oil* sebagian dan seluruhnya dihilangkan yang dapat menstabilkan *bio-oil*. Aplikasi *bio-oil* sebagian bahan bakar transportasi membutuhkan penuh deoksigenasi (Ng *et al.*, 2017).

### 2.3.2. *Catalytic Upgrading*

*Catalytic upgrading* adalah proses pirolisis BCO dengan bantuan katalis dengan tujuan mengubah komponen BCO menjadi *biogasoline*. Dalam proses ini katalis memegang peranan penting karena menentukan jenis senyawa yang terbentuk, berbagai katalis telah dikembangkan. Pada penelitian (Simanjuntak *et al.*, 2017) metode *catalytic upgrading* dapat meningkatkan proses pirolisis yang diterapkan

pada semua jenis biomassa, sehingga tidak dibatasi oleh bahan baku. Selain itu, kualitas bahan bakar cair untuk memenuhi berbagai kebutuhan dapat ditingkatkan.

#### 2.4. Katalis Untuk Upgrading BCO

Katalis adalah zat yang mempercepat reaksi kimia tetapi dalam prosesnya tidak mengalami perubahan kimiawi apapun. Katalis tidak ikut bereaksi dan oleh karena itu tidak muncul dalam persamaan reaksi keseluruhan. Biasanya katalis ditulis di atas panah reaksi di dalam tanda kurung siku. Hal ini menunjukkan bahwa katalis diperlukan agar reaksi mencapai kesetimbangan dalam waktu yang proporsional (Heveling, 2012).

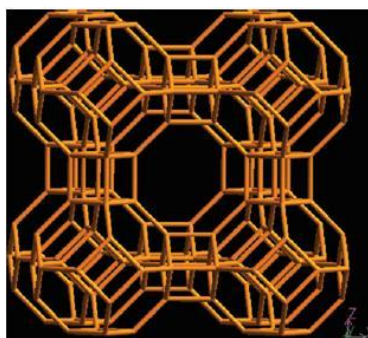
Katalis memiliki situs asam yang dapat mengkatalis reaksi perengkahan atau reaksi polimerisasi yang terjadi berdampak pada komposisi produk. Katalis yang kaya akan situs asam yang meningkatkan pemecahan C-O dan pembentukan ikatan C-C. Situs asam pada katalis dapat mengubah oksigenat dalam uap pirolisis menjadi aromatik melalui berbagai reaksi seperti dehidrasi, dekarboksilasi, dekarbonilasi, oligomerisasi, alkilasi, isomerisasi dan akhirnya aromatisasi. Selain itu, keberadaan situs asam dalam katalis memainkan peran utama dalam pembentukan aromatik dan pembentukan *char*. Oleh karena itu, katalis harus dirancang pada keasaman yang dioptimalkan untuk mencapai yang lebih tinggi senyawa aromatik menghasilkan, sekaligus mengurangi kemungkinan deaktivasi katalis dengan *char*. Penonaktifan terjadi karena terhadap pengendapan bahan berkarbon (*char*) pada permukaan katalis selama pirolisis katalitik, yang membatasi difusi oksigenat untuk masuk dan keluar sebagai aromatik bersama dengan saluran pori (Li *et al.*, 2020).

Beberapa jenis katalis untuk *upgrading* BCO yang telah digunakan antara lain zeolit HZSM-5 (Balasundram *et al.*, 2017), zeolit beta (Taufiqurrahmi *et al.*, 2010), Ni-Zn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Cheng *et al.*, 2017), Co-Karbon (Prabasari *et al.*, 2019), Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pt/SO<sub>4</sub>-ZrO<sub>2</sub> dan Pt/zeolit (Aitani *et al.*, 2019), Ni-Mg/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Nugroho dkk., 2014), Ni/Lempung (Jaya *et al.*, 2012), Ni/La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-αAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Abou *et*

*al.*, 2021), Ti-Silika (Napitupulu dkk., 2012) dan zeolit H-A (Febriyanti *et al.*, 2021).

#### 2.4.1. Zeolit-A

Zeolit-A juga dikenal sebagai LTA (*Linde Type A*), milik keluarga molekul aluminosilikat berjaring. Rumus molekul zeolit-A  $(\text{Na}^+_{12}(\text{H}_2\text{O})_{27})_8[\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}]_8$ . Satuan bangunan utama zeolit-A adalah kerangka sodalit yang dihubungkan oleh cincin beranggota empat membentuk jaringan tiga dimensi (3D) (Gambar 3). Kerangka ini terdiri dari rongga tengah dengan diameter 11,4 Å saling berhubungan dengan lubang delapan cincin dengan ukuran 4,1 Å, sehingga membentuk lubang yang sangat besar membentuk kerangka zeolit (Julbe *and* Drobek, 2016).



**Gambar 3.** Kerangka zeolit-A (*International Zeolite Association (IZA)*, 2017).

Banyak peneliti yang telah melaporkan mensintesis zeolit-A dari bahan baku yang berbeda dengan metode hidrotermal antara lain bubuk batu dan abu aluminium (Kuroki *et al.*, 2019), silika sekam padi dan aluminium foil (Simanjuntak *et al.*, 2019), bentonit (Srilai *et al.*, 2020) dan abu terbang batubara (Murukutti *and* Jena, 2022). Selain itu beberapa penelitian telah mensintesis zeolit-A terprotonasi dengan tujuan sebagai katalis *cracking* dengan pengolahan zeolit dengan asam kuat. Namun, banyak zeolit kristalin yang terurai saat perlakuan dengan asam kuat, sehingga metode ini hanya efektif untuk zeolit bersilika tinggi. Zeolit terprotonasi dapat diperoleh dengan metode pertukaran ion (*ion exchange*). Metode umum melibatkan pertukaran kation dari larutan amonium, diikuti dengan perlakuan termal untuk membebaskan amonia, sehingga membentuk zeolit

terprotonasi (Stephenson *et al.*, 2015). Konversi zeolit-A menjadi zeolit-A terprotonasi (H-A) melalui metode pertukaran ion telah dilakukan oleh Huang *et al.* (1995) dengan menggunakan larutan amonium klorida.

## 2.5. Karakterisasi Zeolit

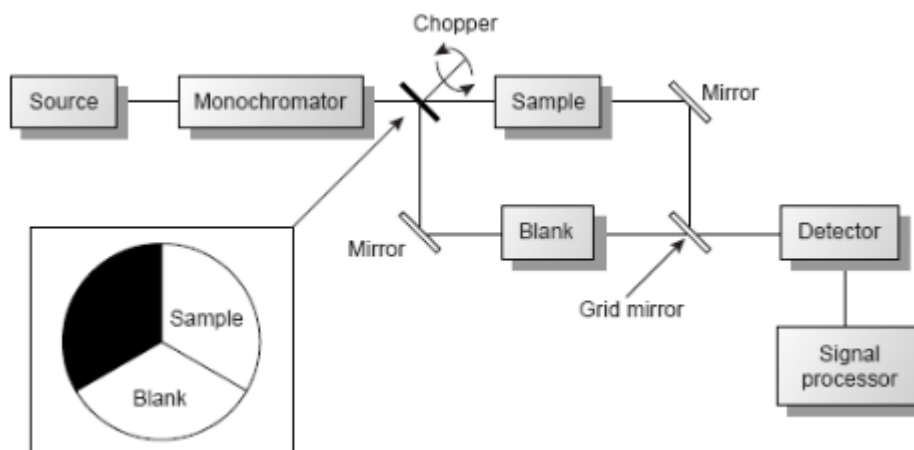
### 2.5.1. Analisis Keasaman

Analisis keasaman zeolit dilakukan untuk mengetahui jumlah dan jenis situs asam. Jumlah situs asam ditentukan melalui metode gravimetri melalui adsorpsi basa dalam fasa gas pada permukaan katalis (ASTM, 2005). Jenis situs asam yang terikat pada katalis dapat ditentukan dengan menggunakan FTIR dari katalis yang telah mengadsorpsi suatu basa. Analisis dengan FTIR untuk sampel komposit anorganik pada umumnya dimaksudkan untuk melihat gugus fungsi yang terkait dengan penyusun sampel. Zeolit memiliki gugus fungsi yang dapat dideteksi dengan FTIR adalah pita serapan melebar dengan intensitas kuat pada daerah  $1095\text{-}1092\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan karakteristik vibrasi gugus siloksan (Si-O-Si), pita serapan sekitar  $420\text{-}494\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus Si-O-Al. Pita serapan lainnya yang menunjukkan adanya vibrasi Al-O yaitu pada daerah  $470\text{-}480\text{ cm}^{-1}$ . Pita serapan bilangan gelombang sekitar  $3300\text{-}3400\text{ cm}^{-1}$  terdapat pita serapan gugus fungsi OH pada molekul air. Pita serapan 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.

Skema FTIR (Gambar 4), sumber (*source*) akan memancarkan berkas radiasi sinar infra merah dengan berbagai panjang gelombang. Radiasi ini selanjutnya dilewatkan melalui monoromotor untuk mendapatkan radiasi dengan panjang gelombang tertentu (tunggal), dan berkas sinar inilah yang dilewatkan melalui pembagi (*chopper*) yang berperan untuk membagi sinar menjadi dua berkas. Berkas pertama diteruskan ke sampel dan berkas kedua akan diteruskan ke sebuah



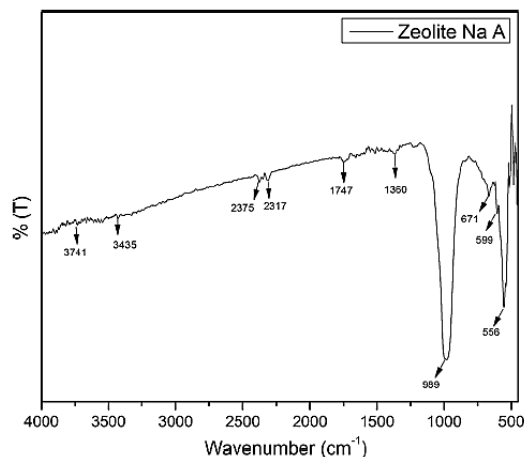
cermin yang akan memantulkan berkas sinar yang tidak diserap oleh blanko melalui cermin bercelah, sehingga kedua berkas menjadi satu. Berkas sinar inilah yang akhirnya diteruskan ke detektor, dan selanjutnya masuk ke pengolah data menghasilkan spektrum.



**Gambar 4.** Skema prinsip FTIR.

Adsorpsi molekul-molekul piridin terjadi pada situs asam yang terdapat pada permukaan katalis yakni asam Brønsted-Lowry dan asam Lewis. Situs asam Brønsted-Lowry, piridin berinteraksi dengan situs asam melalui ikatan hidrogen sedangkan pada situs Lewis, piridin akan berinteraksi secara koordinasi dengan situs asamnya (Swoboda *and* Kunze, 2006). Situs asam Brønsted Lowry atau Lewis yang terdapat dalam sampel dapat dideteksi menggunakan FTIR. Adanya situs asam Brønsted-Lowry ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang sekitar  $1540\text{-}1545\text{ cm}^{-1}$ , sedangkan situs asam Lewis ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang sekitar  $1440\text{-}1452\text{ cm}^{-1}$  (Platon *and* Thomson, 2003).

Keerthana *et al.* (2016) berhasil mensintesis zeolit-A dari campuran aluminium bubuk dan narium metasilikat dengan bentuk spektrum FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pembentukan ikatan antara O, Si, dan Al muncul puncak khas yang terkait dengan ikatan antara tiga elemen utama tersebut sampel.



**Gambar 5.** Spektrum FTIR zeolit A (Keerthana *et al.*, 2016).

### 2.5.2. X-Ray Fluorescence (XRF)

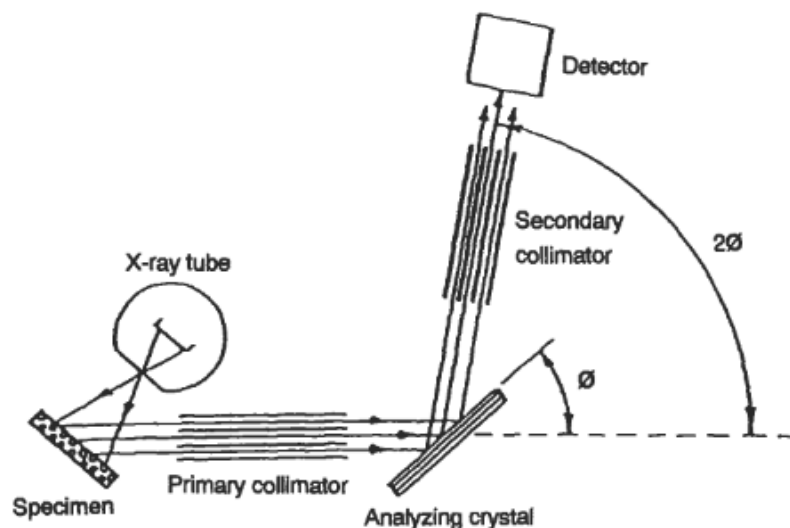
*X-Ray Fluorescence* (XRF) merupakan teknik analisis non destruktif yang digunakan untuk identifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk ataupun cairan. XRF mampu mengukur elemen dari Berilium (Be) hingga Uranium pada level *trace element*, bahkan dibawah level ppm. Secara umum, XRF spektrometer mengukur panjang gelombang komponen material secara individu dari emisi fluoresensi yang dihasilkan sampel saat diradiasi dengan sinar-X (Panalytical, 2009).

Analisis XRF merupakan salah satu contoh analisis yang didasarkan pada perilaku atom yang terkena radiasi. Interaksi atom dengan cahaya dapat menyebabkan berbagai fenomena yang dipengaruhi oleh kuatnya intensitas cahaya yang berinteraksi dengan atom tersebut. Ketika material berinteraksi dengan cahaya yang memiliki energi tinggi (sebagai contoh: sinar-X), maka dapat menyebabkan terpentalnya elektron yang berada pada tingkat energi paling rendah pada suatu atom. Akibatnya atom berada pada keadaan yang tidak stabil sehingga elektron yang berada pada tingkat (kulit valensi) yang lebih tinggi akan mengisi posisi kosong yang ditinggalkan oleh elektron yang terpental tadi. Proses pengisian posisi elektron pada kulit valensi yang lebih rendah dinamakan deeksitasi. Proses deeksitasi ini akan disertai dengan pemancaran cahaya dengan energi yang lebih

kecil daripada energi yang menyebabkan tereksitasnya elektron. Energi yang dipancarkan ini dinamakan radiasi fluoresensi.

Radiasi fluoresensi ini memiliki energi yang khas tergantung dari elektron yang tereksitasi dan deeksitasi pada atom penyusun sebuah material. Kekhasan karakteristik dari radiasi fluoresensi pada setiap unsur ini memungkinkan dapat dilakukannya analisis kualitatif untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang berbeda. Sementara itu, analisis kuantitatif untuk menentukan konsentrasi dari unsur yang dianalisis dapat ditentukan berdasarkan intensitas dari radiasi fluoresensi yang dipancarkan (Setiabudi dkk., 2012). Ilustrasi skema instrumen XRF terdapat pada Gambar 6.

Penelitian yang dilakukan oleh Matti *and* Surchi (2014) mensintesis zeolit-Y dari kaolin mempunyai komposisi 2,605%  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 30,233%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 28,497%  $\text{SiO}_2$ ; 0,058%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 0,048%  $\text{MgO}$ ; 0,003%  $\text{K}_2\text{O}$ ; 7,305%  $\text{CaO}$ ; 0,085%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; dan 31,70%  $\text{H}_2\text{O}$ . Febriyanti *et al.* (2021) mensintesis zeolit-X dari silika sekam padi dan aluminium foil dengan komposisi 0,436%  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 33,933%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; dan 65,631%  $\text{SiO}_2$ . Kamali *et al.* (2009) mensintesis zeolit-A dari klipnotilolit dan aluminium sulfat dengan komposisi 35,58%  $\text{SiO}_2$ ; 28,07%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 17,21%  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 1,08%  $\text{SO}_3$ ; dan 0,53% Cl.

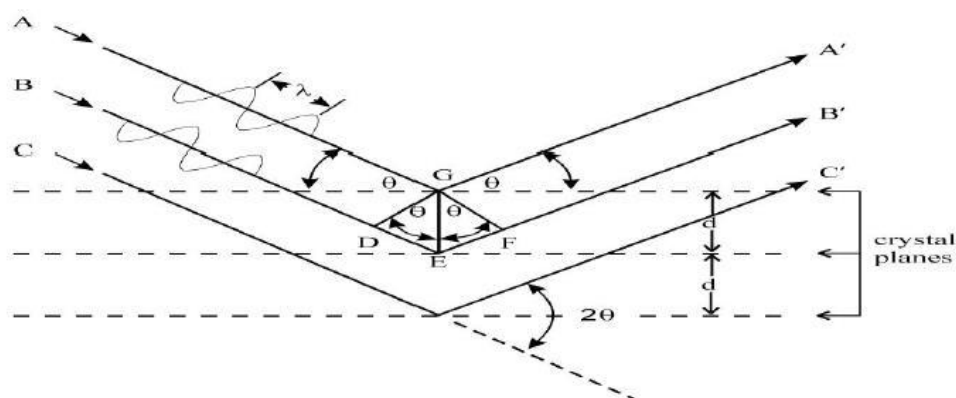


**Gambar 6.** Skema instrumen XRF (Chen *et al.*, 2019).

### 2.5.3. X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengidentifikasi fasa (kuantitatif) dan untuk menentukan struktur kristal atau kristalinitas (kualitatif) dari suatu katalis dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Kebanyakan dari katalis berbentuk padatan kristal seperti oksida logam, zeolit dan logam yang berpenyangga. XRD menjadi teknik yang cukup handal dan mendasar untuk mengevaluasi sifat-sifat fasa kristal dan ukuran kristal (Leofanti *et al.*, 1997).

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 Angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron dan neutron. Sinar-X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,5 sampai 2,5 Angstrom. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. Berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Hukum Bragg merumuskan tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi (Hakim dkk., 2019). Ilustrasi difraksi sinar-X pada XRD dapat dilihat pada Gambar 7.



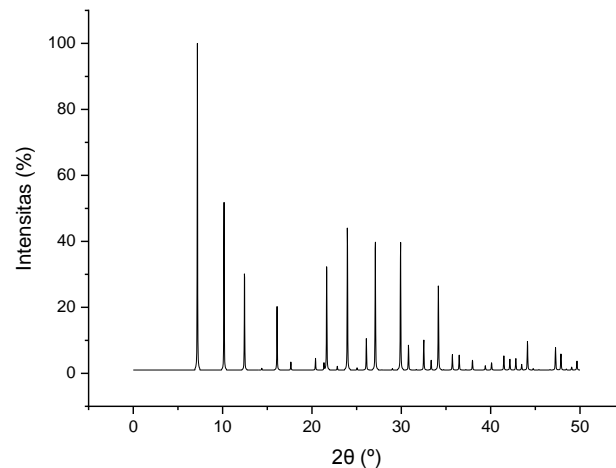
**Gambar 7.** Ilustrasi difraksi sinar-X (Setiabudi dkk., 2012).

Gambar 7 di atas, menyatakan jarak antar kisi kristal A, B dan C merupakan berkas sinar-X dengan panjang gelombang =  $\lambda$ , dan mengenai sampel dengan sudut datang =  $\theta$ . A', B' dan C' merupakan sinar-X yang dipantulkan dengan sudut pantul =  $\theta$ . Peristiwa tersebut menurut Bragg menurunkan hubungan kuantitatif antara panjang gelombang dan karakteristik sampel, yang dikenal sebagai Hukum Bragg. dan secara matematis dalam Persamaan 1.

$$n \lambda = 2d \sin \theta \quad (1)$$

(n) adalah bilangan bulat yang menyatakan urutan pantulan. Berdasarkan Hukum Bragg, jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi, semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya.

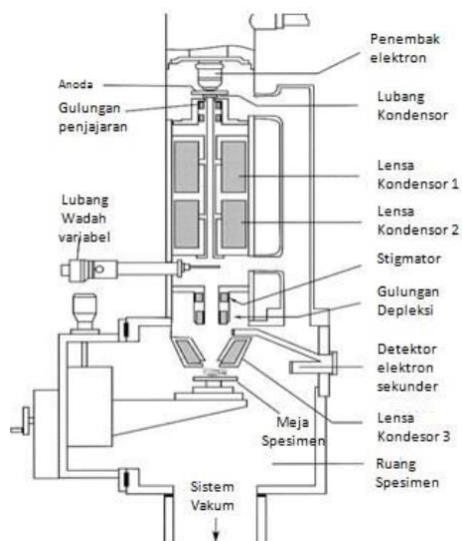
Zeolit hasil sintesis dapat dianalisis dengan menggunakan bantuan aplikasi IZA (*International Zeolite Association*), JCPDS, PCPDF, ataupun Match untuk menyamakan puncak  $2\theta$  yang muncul pada zeolit hasil sintesis dengan zeolit yang komersil. Berdasarkan IZA bila diamati dari hasil karakterisasi dengan XRD zeolit-A memiliki puncak-puncak karakteristik yang khas. Puncak  $2\theta$  yang khas muncul pada zeolit-A  $7,2^\circ$ ;  $10,3^\circ$ ;  $12,6^\circ$ ;  $16,2^\circ$ ;  $21,8^\circ$ ;  $24^\circ$ ;  $26,2^\circ$ ;  $27,2^\circ$ ;  $30^\circ$ ;  $30,9^\circ$ ;  $31,1^\circ$ ;  $32,6^\circ$ ;  $33,4^\circ$ ; dan  $34,3^\circ$  (Gambar 8).



**Gambar 8.** Difraktogram XRD standar zeolit-A (*International Zeolite Association (IZA), 2017*).

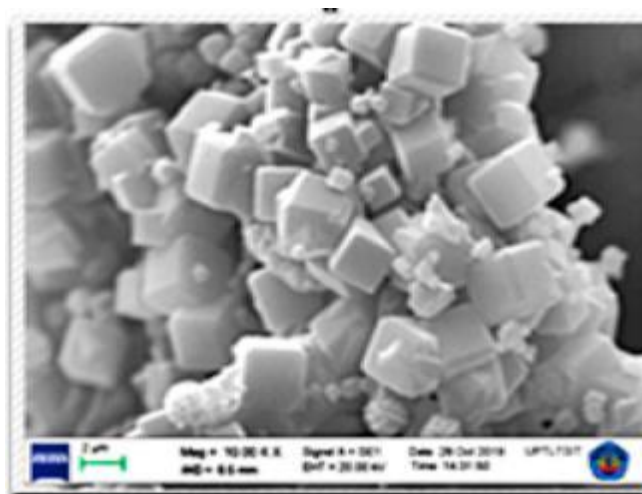
#### **2.5.4. Scanning Electron Microscopy (SEM)**

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 kerja alat ini adalah sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Apabila elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (*specimen*) maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. *Scanning* pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur *scanning generator* dan *scanning coils*. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan spesimen ditangkap oleh detektor *Secondary Electron (SE)* yang kemudian diolah dan diperkuat oleh *amplifier* dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (Smallman and Bishop, 2000). Skema dasar SEM disajikan pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Skema instrumen SEM (Setiabudi *et al.*, 2012).

Simanjuntak *et al.* (2021) telah berhasil mensintesis zeolit-A dari silika sekam padi dan aluminium foil *food grade* menunjukkan kristal kubus (Gambar 10).



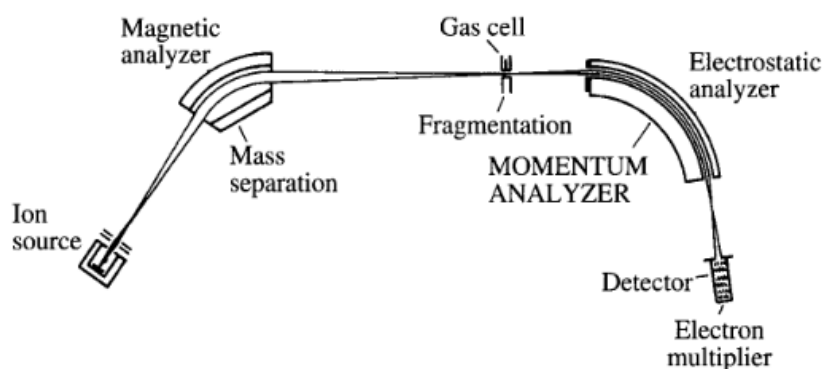
**Gambar 10.** Morfologi SEM zeolit-A (Simanjuntak *et al.*, 2021).

## 2.6. Komposisi *Bio-Crude Oil* (BCO)

Komposisi *bio-crude oil* (BCO) sangat bervariasi tergantung pada bahan baku dan katalis yang digunakan. Jenis senyawa yang terdapat dalam BCO dapat diketahui melalui analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). GC-MS

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

Prinsip kerja GC-MS adalah sampel yang berupa cairan diinjeksikan ke dalam injektor kemudian diuapkan. Sampel yang berbentuk uap dibawa oleh gas pembawa menuju kolom untuk proses pemisahan. Setelah pemisahan, masing-masing komponen akan melalui ruang pengion dan dibombardir oleh elektron sehingga terjadi ionisasi. Fragmen-fragmen ion yang dihasilkan akan ditangkap oleh detektor dan dihasilkan spektrum massa. Skema prinsip kerja GC-MS dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Skema prinsip kerja GC-MS (Kitson *et al.*, 1996).

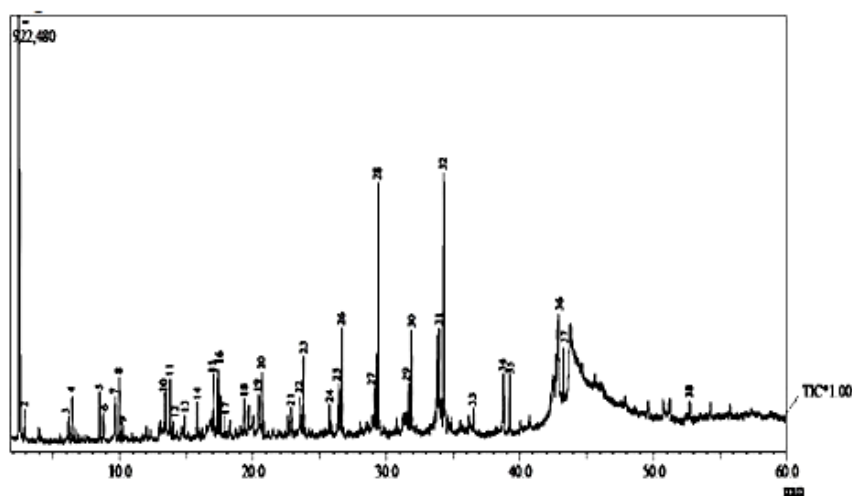
Praktiknya, sekarang telah tersedia sistem kepastakaan senyawa berdasarkan analisis GC-MS, dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi komponen dalam sebuah sampel dengan cara membandingkan spektrum massa sampel dengan spektrum massa standar yang ada dalam sistem kepastakaan. Sejumlah besar senyawa sudah dirangkum dalam suatu sistem kepastakaan yang sudah tersedia dalam bentuk perangkat lunak komputer, diantaranya sistem kepastakaan Willey229 LIB dan Nist12 LIB. Bantuan sistem kepastakaan ini identifikasi senyawa dalam suatu sampel dapat dilakukan dengan membandingkan spektrum



MS dari sampel dengan spektrum MS senyawa yang sudah ada dalam sistem kepustakaan.

Simanjuntak *et al.* (2019) memproduksi BCO dari campuran ongkok dan minyak biji karet menggunakan katalis zeolit-A yang divariasikan waktu kalsinasi.

Gambar 12 adalah BCO dengan menggunakan katalis zeolit-A tanpa kalsinasi berdasarkan hasil GC-MS menghasilkan 38 puncak yang berarti terdapat 38 senyawa dalam BCO tersebut.



**Gambar 12.** Kromatogram GC BCO campuran ongkok dan minyak biji karet (Simanjuntak *et al.*, 2019).

Setiap puncak kromatogram mewakili satu senyawa. Sampel pada GC-MS yang diinjeksikan ke dalam perangkat GC akan dipisahkan menjadi komponen-komponen tunggal berdasarkan bobot molekul, yang mana komponen dengan molekul terkecil akan keluar dari kolom terlebih dahulu. Komponen yang sudah terpisah selanjutnya dialirkan ke dalam perangkat spektrometri massa, kemudian dibantu sistem kepustakaan ini identifikasi senyawa dalam suatu sampel dapat dilakukan dengan membandingkan spektrum MS dari sampel dengan spektrum MS senyawa yang sudah ada dalam sistem kepustakaan (Aristiani, 2015). Berikut (Tabel 1) adalah berbagai penelitian yang telah dilakukan untuk menghasilkan BCO dengan komposisinya.

**Tabel 1.** BCO dengan komposisinya dari berbagai penelitian

No	Bahan Baku	Katalis	Komposisi BCO	Referensi
1	Minyak kelapa sawit dan ampas tabu	Zeolit-Y	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrokarbon 76%</li> <li>• Ester 8%</li> <li>• Alkohol 13%</li> <li>• Keton 3%</li> </ul>	Supriyanto <i>et al.</i> , 2018
2	Minyak biji karet dan ampas tebu	Zeolit-Y	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrokarbon 87.91%</li> <li>• Alkohol 2.30%</li> <li>• Keton 7.71%</li> <li>• Ester 1.27%</li> </ul>	Simanjuntak <i>et al.</i> , 2019
3	Minyak biji karet dan ampas tebu	Aluminosilikat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrokarbon 41%</li> <li>• Alkohol 10%</li> <li>• Keton 21%</li> <li>• Asam 9%</li> <li>• Aldehida 1%</li> <li>• Ester 18%</li> </ul>	Simanjuntak <i>et al.</i> , 2017
4	Minyak kelapa sawit	Zeolit H-X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrokarbon 77%</li> <li>• Keton 7%</li> <li>• Asam 16%</li> </ul>	Febriyanti <i>et al.</i> , 2021
5	Minyak biji karet dan onggok	Zeolit-A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrokarbon 79%</li> <li>• Ester 7%</li> <li>• Asam 3%</li> <li>• Keton 4%</li> <li>• Alkohol 9%</li> </ul>	Simanjuntak <i>et al.</i> , 2019

Hasil akhir dari GC-MS adalah kromatogram massa. Puncak yang tidak diketahui yang terdeteksi oleh kedua teknik, hanya dapat ditentukan dan diidentifikasi lebih lanjut dengan mudah menggunakan GC-MS. Data seperti waktu retensi, berat molekul dan spektrum massa yang diperoleh dari GC-MS dapat diambil dan digunakan untuk pencarian perpustakaan spektral. Dengan perangkat lunak

tambahan, GC-MS dapat menghitung massa yang akurat dan memperkirakan komposisi molekul. Ini sangat berharga untuk identifikasi unik molekul, juga dikenal sebagai analisis kualitatif. GC-MS memberikan spesifisitas dan sensitivitas tambahan dan kemudahan analisis multi komponen secara bersamaan (Shimadzu, 2020).

Ciri umum BCO adalah komposisi yang kompleks, di mana terdapat sejumlah besar senyawa yang termasuk dalam berbagai kelas organik seperti hidrokarbon, asam, fenolik, alkohol dan oksigenat lainnya. Dari komponen-komponen tersebut, fraksi *biogasoline* tersusun dari hidrokarbon C<sub>5</sub>-C<sub>12</sub> dan memiliki ketertarikan khusus karena karakteristiknya yang mirip dengan *gasoline* (Simanjuntak *et al.*, 2021).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Mei sampai Agustus 2022, bertempat di Laboratorium Polimer dan Laboratorium Anorganik/Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis XRD dilakukan di ITS Surabaya, analisis SEM dan FTIR dilakukan di UPT LTSIT Universitas Lampung, analisis XRF dilakukan di Universitas Negeri Padang dan analisis GC-MS dilakukan di Universitas Islam Indonesia.

#### 3.2. Alat dan Bahan

##### 3.2.1. Alat Penelitian

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah wadah lock n' lock, NDJ-8S *viscometer*, *hotplate stirrer* Thermo SP88857105 Cimarec, *magnetic stirrer*, oven Jisico J-300S, panci teflon *magic com*, termometer, pipet tetes, peralatan gelas, mortar dan pastel, saringan mesh 300, perangkat pirolisis, *furnace*, autoklaf, neraca analitik. *Scanning Electron Microscope* (SEM) tipe ZEISS EVO MA 10, *X-Ray Diffraction* (XRD) PANalytical tipe XPert MPD *diffractometer*, *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) Nicolet Avatar 360, *X-Ray Fluorescence* (XRF) PANalytical Epsilon 3 dan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS) tipe QP2010S SHIMADZU.

### 3.2.2. Bahan Penelitian

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah HNO<sub>3</sub> (68%, Brataco), NaOH (99%, Merck), NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (99%, Merck), piridin (99%, Merck), aquades, sekam padi, indikator universal, kertas saring, aluminium foil dan minyak kelapa sawit.

### 3.3. Prosedur Penelitian

#### 3.3.1. Ekstraksi Silika Sekam Padi

Ekstraksi silika sekam padi menggunakan metode yang telah dikembangkan oleh Simanjuntak *et al.* (2019) tahap ekstraksi silika diawali dengan merendam sekam padi dalam air panas selama 2 jam untuk menghilangkan pengotor, lalu sekam padi dipisahkan, yakni antara sekam padi yang mengambang di permukaan air dan memiliki kualitas kurang baik dengan sekam padi yang terendam di bagian bawah dan mengandung silika. Sekam padi yang mengandung silika kemudian dicuci kembali secara berulang dengan air panas untuk menghilangkan pengotor yang diperkirakan masih menempel pada permukaan sekam padi. Sekam padi yang telah bersih selanjutnya dikeringkan dengan cara dijemur di bawah sinar matahari selama 2 hari.

Sekam padi sebanyak 50 gram yang telah bersih diekstrak dalam 500 mL larutan NaOH 1,5% dalam teflon dan dipanaskan sampai mendidih selama 30 menit. Hasil ekstrak kemudian disaring dan filtrat yang mengandung silika terlarut ditampung. Cara mengendapkan silika, filtrat ditambahkan dengan larutan HNO<sub>3</sub> 10% secara perlahan hingga menjadi gel dan pH mencapai 7. Gel silika kemudian didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang lalu disaring dan dicuci dengan aquades panas hingga bersih. Silika gel yang telah bersih dan bebas dari pengotor kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 24 jam, dihaluskan, dan disaring dengan saringan 300 mesh.

### 3.3.2. Sintesis Zeolit-A dengan Metode Hidrotermal

Zeolit-A disintesis menggunakan metode hidrotermal yang telah dikembangkan oleh Simanjuntak *et al.* (2019) dari campuran larutan natrium silikat dan aluminium foil *food grade* dengan komposisi molar  $\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 2\text{SiO}_2 : 4,5\text{H}_2\text{O}$ . Diawali dengan menimbang NaOH *pellet* sekitar 20 gram, aluminium foil sebanyak 13,5 gram, dan silika sekam padi sebanyak 30 gram. NaOH *pellet* kemudian dilarutkan dengan aquades sebanyak 250 mL dan ditambahkan silika sekam padi sambil diaduk. Campuran dipanaskan dengan *hotplate stirrer* suhu 70 °C selama 3 jam. Setelah semua silika terlarut, larutan natrium silikat disaring dengan menggunakan kertas saring untuk memisahkan dari pengotor yang masih terdapat dalam larutan dilakukan penuaan (*aging*) selama 24 jam. Aluminium foil yang telah dipotong kecil-kecil, ditambahkan ke dalam larutan natrium silikat yang telah dilakukan penuaan dengan cara disebarakan secara merata lalu diaduk selama 3 jam dengan *hotplate stirrer* tanpa panas hingga terbentuk gel homogen.

Tahap berikutnya gel dipindahkan ke dalam teflon dan dimasukkan ke dalam autoklaf lalu dilakukan penuaan (*aging*) selama 24 jam dalam keadaan tertutup untuk menumbuhkan inti kristal zeolit (Mohamed *et al.*, 2013). Setelah itu, sampel dipindahkan ke dalam oven untuk menjalani tahap kristalisasi pada suhu 100 °C selama 72 jam. Setelah proses kristalisasi selesai, sampel disaring secara perlahan dengan kertas saring untuk memisahkan zeolit yang terbentuk dengan sisa filtrat yang ada dalam autoklaf dan dicuci dengan aquades sampai mencapai pH 8. Sampel lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 24 jam. Tahapan terakhir, sampel yang sudah kering dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 6 jam untuk mengaktifkan zeolit.

### 3.3.3. Modifikasi Zeolit Sintetik A dengan Metode Ion Exchange

Modifikasi zeolit-A menjadi zeolit H-A melalui metode *ion exchange* yang dilakukan oleh Yang *et al.* (2017) digunakan zeolit-A yang telah dikalsinasi dilarutkan ke dalam larutan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  yang divariasikan konsentrasinya yakni 2; 2,5; 3; dan 3,5 M, dipanaskan dengan *hotplate stirrer* selama 6 jam pada suhu 80

°C dengan rasio zeolit/larutan yaitu 20 g/200 mL untuk memperoleh zeolit  $\text{NH}_4^+$ -A. Filtrat zeolit  $\text{NH}_4^+$ -A dicuci menggunakan aquades hingga pH netral, disaring, dan dikeringkan pada suhu 80 °C. Zeolit  $\text{NH}_4^+$ -A dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 6 jam untuk memperoleh zeolit H-A.

### 3.3.4. Karakterisasi Katalis Zeolit Sintetik A dan Zeolit Sintetik Terprotonasi (H-A)

Karakterisasi zeolit akan dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menganalisis pengaruh metode *ion exchange* terhadap struktur kristalografi sampel zeolit yang bersifat amorf atau kristalin. Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel zeolit, *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui unsur yang terdapat pada sampel zeolit dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi senyawa dari sampel zeolit menggunakan sinar radiasi inframerah. Selain itu, karakterisasi fisik pada katalis berupa penentuan jumlah situs asam juga dilakukan. Penentuan keasaman atau jumlah situs asam katalis dilakukan secara gravimetri.

Langkah-langkah untuk analisis keasaman katalis adalah sebagai berikut:

1. Sampel ditimbang sebanyak 0,2 g dan dimasukkan ke dalam cawan krus berukuran 10 mL.
2. Cawan krus diletakkan ke dalam desikator bersama basa piridin sebanyak 5 mL yang ditempatkan dalam cawan terpisah.
3. Desikator kemudian ditutup selama 24 jam untuk memberikan waktu katalis mengadsorpsi basa piridin.
4. Setelah 24 jam, katalis dikeluarkan dan dibiarkan ditempat terbuka selama 2 jam.
5. Katalis ditimbang untuk mendapatkan berat akhir.
6. Kemudian jumlah situs asam yang terdapat pada katalis ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.

$$\text{Keasaman} = \frac{(W_3 - W_2)}{(W_2 - W_1) \text{BM}} \times 1000 \text{ mmol/g} \quad (2)$$

Keterangan :

$W_1$  = berat wadah kosong (g)

$W_2$  = berat wadah + sampel (g)

$W_3$  = berat wadah + sampel yang telah mengadsorpsi piridin

BM = berat molekul piridin

### 3.3.5. Uji Aktivitas Zeolit Sintetik A dan Zeolit Sintetik Terprotonasi (H-A)

#### 3.3.5.1. Uji Pirolisis

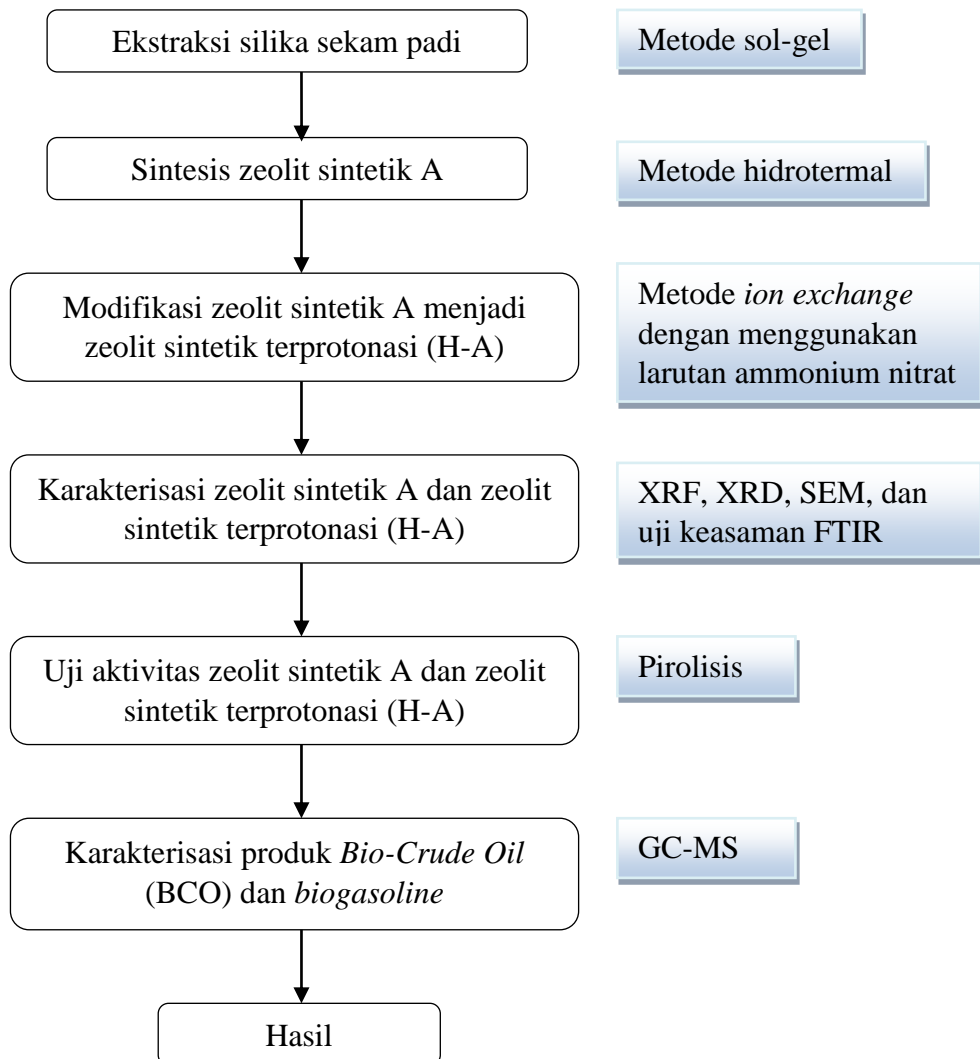
Cara mendapatkan *biogasoline* hasil pirolisis, langkah pertama yang dilakukan yaitu dengan memasukkan 250 mL minyak kelapa sawit ke dalam reaktor pirolisis yang telah dirangkai pada alat pirolisis. Uap yang terbentuk dialirkan dari reaktor kemudian didinginkan di dalam kondensor hingga menghasilkan distilat yaitu BCO. Pirolisis dilakukan selama 3 jam (Simanjuntak *et al.*, 2019). Hasil BCO sebanyak 150 mL dan 7,5 g katalis zeolit-A dipirolisis lebih lanjut dengan rangkaian alat pirolisis untuk mendapatkan *biogasoline*. Langkah ini diulangi dengan zeolit H-A variasi konsentrasi yakni 2; 2,5; 3; dan 3,5 M.

#### 3.3.6. Karakterisasi Produk Hasil Pirolisis

Untuk menguji kelayakan *biogasoline* sebagai bahan bakar, sampel hasil pirolisis dilakukan karakterisasi untuk mengidentifikasi komponen-komponen penyusun sampel dilakukan dengan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS).



Rangkaian proses penelitian dirangkum dalam Gambar 13.



**Gambar 13.** Rangkaian proses penelitian.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Zeolit-A telah berhasil disintesis dari silika sekam padi dan aluminium foil dengan hasil karakterisasi XRD yang dibandingkan dengan standar IZA dan SEM.
2. Protonasi zeolit-A telah berhasil dilakukan berdasarkan hasil XRF yang dibuktikan dengan konversi Na menjadi H terbesar terdapat pada zeolit HA<sub>4</sub> sebesar 91%.
3. Zeolit sintetik terprotonasi (H-A) tidak mengubah fasa kristalin dan morfologi permukaan pada zeolit-A.
4. Zeolit-A dan zeolit-A terprotonasi (HA<sub>1</sub>, HA<sub>2</sub>, HA<sub>3</sub> dan HA<sub>4</sub>) memiliki situs asam Brønsted-Lowry dan nilai keasaman terbesar pada zeolit HA<sub>4</sub> sebesar  $6,2 \times 10^{-1}$  mmol/g.
5. Uji pirolisis pada proses *catalytic upgrading* yang terbaik menggunakan katalis HA<sub>2</sub> kandungan hidrokarbon sebesar 100% dengan kandungan *biogasoline* sebesar 49,02%.

## 5.2. Saran

Beberapa hal yang disarankan pada penelitian selanjutnya antara lain:

1. Mengkaji pengaruh jumlah penambahan katalis terhadap karakteristik BCO yang dihasilkan.
2. Mempelajari penggunaan katalis yang disintesis untuk uji pirolisis bahan baku lain seperti minyak non pangan seperti minyak biji karet, minyak jarak pagar dan minyak jarak kaliki.
3. Katalis Zeolit dikarakterisasi dengan metode karakterisasi lainnya, seperti *Brunauer Emmett Teller* (BET) dan *Particle Size Analysis* (PSA) untuk melihat ukuran partikel dan luas permukaan.
4. Memisahkan *biogasoline* dari campuran reaksi dari produk *Bio-Crude Oil*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abou, M., Cédric, R., Hervé, G., Edmond, P., Aad, A., and Harifidy, J. 2021. Pyrolysis Catalytic Upgrading of Bio Oil and Pyrolysis Catalytic Steam Reforming of Biogas: a Review. In *Environmental Chemistry Letters*. Springer International Publishing. 16: 36-40.
- Acikgoz, C., and Kockar, O. M. 2007. Flash Pyrolysis of Linseed (*Linum Usitatissimum* L.) for Production of Liquid Fuels. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 78(2): 406–412.
- Aitani, A., Akhtar, M. N., Al-khattaf, S., Jin, Y., Koseoglo, O., and Klein, M. T. 2019. Catalytic Upgrading of Light Naphtha to Gasoline Blending Components : A Mini Review [Review-article]. *Energy and Fuels*. 33: 3828–3843.
- Alcazar-Ruiz, A., Garcia-Carpintero, R., Dorado, F., and Sanchez-Silva, L. 2021. Valorization of Olive Oil Industry Subproducts: Ash and Olive Pomace Fast Pyrolysis. *Food and Bioproducts Processing*. 125: 37–45.
- Aristiani, V. 2015. Preparasi Katalis CaO/SiO<sub>2</sub> dari CaCO<sub>3</sub> dan Silika Sekam Padi dengan Metode Sol Gel untuk Pengolahan Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 62.
- ASTM. 2005. *Test Method for Determination of Catalyst Acidity by Ammonia Chemisorption*. Manual Book of ASTM. pp.1-3.
- Bakar, R. A., Yahya, R., and Gan, S. N. 2016. Production of High Purity Amorphous Silika from Rice Husk. *Procedia Chemistry*. 19: 189-195.
- Balasundram, V., Ibrahim, N., Kasmani, R. M., Kamaruddin Abd Hamid, M., Isha, R., Hasbullah, H., and Ali, R. R. 2017. Catalytic Pyrolysis of Sugarcane Bagasse Over Cerium (Rare Earth) Loaded HZSM-5 Zeolite. *Energy Procedia*. 142: 801–808.
- Basu, P. 2010. *Biomassa Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory* (2<sup>th</sup> ed). Elsevier. New York. p.13.

- Brethauer, S., and Wyman, C. E. 2010. Review: Continuous Hydrolysis and Fermentation for Cellulosic Ethanol Production. *Bioresource Technology*. 101: 4862–4874.
- Cai, W., Kang, N., Ki, M., Sun, C., and Liu, R. 2019. Long Term Storage Stability of Bio-Oil from Rice Husk Fast Pyrolysis. *Energy*. 186: 1–8.
- Cardoso, A. M., Horn, M. B., Ferret, L. S., and Azevedo, C. M. N. 2015. Integrated Synthesis of Zeolites 4A and Na – P1 Using Coal Fly Ash for Application in The Formulation of Detergents and Swine Wastewater Treatment. *Journal of Hazardous Materials*. 287: 69–77.
- Chang, S. H. 2018. Bio-oil Derived from Palm Empty Fruit Bunches : Fast Pyrolysis, Liquefaction and Future Prospects. *Biomass and Bioenergy*. 119: 263–276.
- Che, Q., Yang, M., Wang, X., Chen, X., Chen, W., Yang, Q., Yang, H., and Chen, H. 2019. Aromatics Production with Metal Oxides and ZSM-5 as Catalysts in Catalytic Pyrolysis of Wood Sawdust. *Fuel Processing Technology*. 188(02): 146–152.
- Chen, D., Wang, Y., Liu, Y., Cen, K., Cao, X., Ma, Z., and Li, Y. 2019. Comparative Study on the Pyrolysis Behaviors of Rice Straw Under Different Washing Pretreatments of Water, Acid Solution, and Aqueous Phase Bio-Oil by Using TG-FTIR and Py-GC/MS. *Fuel*. 252(04): 1–9.
- Cheng, S., Wei, L., Julson, J., Muthukumarappan, K., Kharel, P. R., and Boakye, E. 2017. Hydrocarbon Bio-Oil Production from Pyrolysis Bio-Oil Using Non Sulfide Ni-Zn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst. *Fuel Processing Technology*. 162: 78– 86.
- Dermirbas, A. 2019. Pyrolysis Mechanisms of Biomass Materials. *Energy Sources*. 31: 1186–1193.
- Dhyani, V., and Bhaskar, T. 2019. *Pyrolysis of Biomass*. In *Biomass, Biofuels, Biochemicals: Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels*. Academic Press. United States. 217–244.
- Díaz, E., Ordóñez S., Vega, A., and Coca J. 2005. Evaluation of Different Zeolites In Their Parent and Protonated Forms for The Catalytic Combustion of Hexane And Benzene. *Microporous and Mesoporous Materials*. 83: 292–300.
- Elma, M. 2018. *Proses Sol-Gel: Analisis Fundamental dan Aplikasi (1<sup>th</sup> ed)*. Lampung Mangkurat University Press. Banjarmasin. 3-10 hlm.
- Febriyanti, T. D., Simanjuntak, W., and Pandiangan, K. D. 2021. Pyrolytic Conversion of Palm Oil into Liquid Fuel Using Protonated Zeolite-X

Prepared from Rice Husk Silica and Aluminum Foil as Catalyst. *Journal of Physics: Conference Series*. 1751(1).

- Ginting, S. B., Sari, D. P., Iryani, D. A., Hanif, M., and Wardono, H. 2019. Sintesis Zeolit Lynde Type-A (LTA) dari Zeolit Alam Lampung (ZAL) Menggunakan Metode Step Change Temperature of Hydrothermal dengan Variasi  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  Diaplikasikan untuk Dehidrasi Etanol. *Journal of Chemical Process Engineering*. 4(1): 31–44.
- Hakim, L., Dirgantara, M., and Nawir, M. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*. 1(1): 44–51.
- Hernandez-Mena, L. E., Pécora, A. A. B., and Beraldo, A. L. 2014. Slow Pyrolysis of Bamboo Biomass: Analysis of Biochar Properties. *Chemical Engineering Transactions*. 37: 115–120.
- Heveling, J. 2012. Heterogeneous Catalytic Chemistry by Example of Industrial Applications. *Journal of Chemical Education*. 89: 1530–1536.
- Hu, X. and Gholizadeh, M. 2019. Biomass pyrolysis: A Review of The Process Development and Challenges from Initial Researches Up to The Commercialisation Stage. *Journal of Energy Chemistry*. 39: 109–143.
- Huang, M., Auroux, A., and Kaliaguine, S. 1995. Crystallinity Dependence of Acid Site Distribution in HA, HX and HY Zeolites. *Microporous Materials*. 5(1–2): 17–27.
- Humz. 2017. Synthesis of Phase-Pure Zeolite Sodalite from Clear Solution Extracted from Coal Fly Ash. *Journal of Thermodynamics and Catalysis*. 8(2): 1–6.
- Istadi, I., Buchori, L., Anggoro, D. D., Riyanto, T., Indriana, A., Khotimah, C., and Setiawan, F. A. P. 2019. Effects of Ion Exchange Process on Catalyst Activity and Plasma-Assisted Reactor Toward Cracking of Palm Oil into Biofuels. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*. 14(2). 459–467.
- IZA (International Zeolite Association). 2017. <http://www.iza-structure.org/databases/>. Diakses pada 28 Februari 2022.
- Jaya, S. J., Syaiful, B., and Edy, S. 2012. Upgrading Crude Bio-Oil (CBO) dari Biomassa menjadi Upgraded Bio-Oil (UBO) dengan Katalis Ni/Lempung Subangkit. 4: 1–5.
- Julbe, A., and Drobek, M. 2016. *Zeolite A Type*. Springer Berlin Heidelberg.

- Kamali, M., Vaezifar, S., and Kolahduzan, H. 2009. Synthesis of Nanozeolite a from Natural Clinoptilolite and Aluminum Sulfate. *Optimization of The Method. Powder Technology*. 189(1): 52–56.
- Keerthana, S., Agilan, S., Muthukumarasamy, N., Balasundaraprabhu, R., and Velauthapillai, D. 2016. Synthesis and Characterization of Zeolite NaA and NaY Coating on Mild Steel. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 79: 510–519.
- Kitson, F. G., Larsen, B. S., and McEwen, C. N. 1996. *Gas Chromatography and Mass Spectrometry (1<sup>th</sup> ed)*. Academic Press. United States. pp.3-23.
- Król, M. 2020. Natural VS. Synthetic Zeolites. *Crystals*. 10(7): 1-8.
- Kuroki, S., Hashishin, T., Morikawa, T., Yamashita, K., and Matsuda, M. 2019. Selective Synthesis Of Zeolites A And X from Two Industrial Wastes: Crushed Stone Powder and Aluminum Ash. *Journal of Environmental Management*. 231: 749–756.
- Leofanti, G., Tozzola, G., Padovan, M., Petrini, G., Bordiga, S., and Zecchina, A. 1997. Catalyst Characterization : Application. *Catalysis Today*. 34: 329–352.
- Li, C., Zhang, L., Gholizaadeh, M., Westernhof, R., Cui, Z., Liu, B., Tang, Y., Jin, X., Xu, Z., and Hu, X. 2020. Impact of Acidic/Basic Sites of The Catalyst on Properties of The Coke Formed in Pyrolysis of Guaiacol: A Model Compound of The Phenolics in Bio-Oil. *Energy and Fuels*. 34: 11026–11040.
- Madhu, P., Livingston, T. S., and Kanagasabapathy, H. 2018. Flash Pyrolysis of Lemon Grass (*Cymbopogon Flexuosus*) for Bio-Oil Production in an Electrically Heated Fluidized Bed Reactor. *Waste and Biomass Valorization*. 9(6): 1037–1046.
- Matti, A. H., and Surchi, K. M. 2014. Comparison The Properties of Zeolite NaY Synthesized by Different Procedures. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 3(6): 13333–13342.
- Mohamed, R. M., Mkhallid, I. A., and Barakat, M. A. 2013. Rice Husk Ash as a Renewable Source for The Production of Zeolite NaY and Its Characterization. *Arabian Journal of Chemistry*. 8(1): 48–53.
- Murukutti, M. K., and Jena, H. 2022. Synthesis of Nano-Crystalline Zeolite-A and Zeolite-X from Indian Coal Fly Ash, its Characterization and Performance Evaluation for the Removal of Cs<sup>+</sup> and Sr<sup>2+</sup> from Simulated Nuclear Waste. *Journal of Hazardous Materials*. 127085(423): 1-2.
- Napitupulu, R., Pandiangan, K. D., and Simanjuntak, W. 2012. Studi Pendahuluan Perengkahan Katalitik (Catalytic- Cracking) Minyak Kelapa menjadi Bahan

Bakar Cair (Liquid Fuel) Generasi Kedua dengan Nano Katalis Ti Silika Berbasis Sekam Padi. *Prosiding SNSMAIP III*. 499–503.

Ng, D. K. S., Ng, K. S., and Ng, R. T. L. 2017. *Integrated Biorefineries (1<sup>th</sup> ed)*. In *Encyclopedia of Sustainable Technologies*. Elsevier. Heriot Watt University. 4.

Nugrahaningtyas, K.D., Trisunaryanti, W., Triyono, Nuryono, Maruto, D., Yusnani, M.W.A., dan Mulyani. 2009. Preparasi dan Karakterisasi Katalis Logam tak tersulfidasi: Ni/USY dan NiMo/USY. *Journal Chemistry*. 9 (2): 177-183.

Nugroho, A. P. P., Fitriyanto, D., and Roesyadi, A. 2014. Pembuatan Biofuel dari Minyak Kelapa Sawit melalui Proses Hydrocracking dengan Katalis NiMg/ $\gamma$ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Jurnal Teknik Pomits*. 3(2): 117–121.

Onay, Ö., and Koçkar, Ö. M. 2003a. Production of Bio-Oil from Biomass : Slow Pyrolysis of Rapeseed (*Brassica napus* L.) in a Fixed-Bed Reactor. *Energy Sources*. 25: 879–892.

Onay, Ö., and Koçkar, Ö. M. 2003b. Slow, Fast and Flash Pyrolysis of Rapeseed. *Renewable Energy*. 28: 2417–2433.

Panalytical, B. V. 2009. *Definition of X-Rays Fluorescence and Application (1<sup>th</sup> ed)*. Kangaroo Book. Brisbane. p.62.

Pandiangan, K. D., Jamarun, N., Arief, S., Simanjuntak, W., and Rilyanti, M. 2016. The Effect of Calcination Temperatures on The Activity of CaO and CaO/SiO<sub>2</sub> Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Rubber Seed Oil in The Presence of Coconut Oil as a Co-reactant. *Oriental Journal of Chemistry*. 32(6): 3021-3026.

Pandiangan, K. D., Arief, S., Jamarun, N., and Simanjuntak, W. 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 Science*. 8(5): 1797–1802.

Pandiangan, K. D., Damayanti, P., Faulia, R., and Simanjuntak, W. 2019. Characteristics and Catalytic Activity of Zeolite-A Synthesized from Rice Husk Silica and Aluminium Metal by Sol-Gel Method. *Journal of Physics: Conference Series*. 1338(1): 1742–6596.

Parinduri, L., and Parinduri, T. 2020. Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *JET (Journal of Electrical Technology)*. 5(2): 88–92.

Platon, A., and Thomson, W. J. 2003. Quantitative Lewis/ Brønsted Ratios Using DRIFTS. *Applied Catalysis Industrial Engineering Chemistry Research*. 42: 5988–5992.



- Prabasari, I. G., Sarip, R., Rahmayani, S., and Nazarudin. 2019. Catalytic Cracking of Used Cooking Oil Using Cobalt-impregnated Carbon Catalysts. *Makara Journal of Science*. 23(3): 162–168.
- Qiao, Y., Wang, B., Zong, P., Tian, Y., Xu, F., Li, D., and Li, F. 2019. Thermal Behavior, Kinetics and Fast Pyrolysis Characteristics of Palm Oil: Analytical TG-FTIR and Py-GC/MS Study. *Energy Conversion and Management*. 199: 110.
- Raja, S. A., Kennedy, Z. R., Pillai, B. C., and Lee, C. L. R. 2010. Flash Pyrolysis of Jatropha Oil Cake in Electrically Heated Fluidized Bed Reactor. *Energy*. 35(7): 2819–2823.
- Setiabudi, A., Hardian, R., and Muzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material*. UPI Press. Bandung. 58-72 hlm.
- Setter, C., Borges, F. A., Cardoso, C. R., Mendes, R. F., and Oliveira, T. J. P. 2020. Industrial Crops and Products Energy Quality of Pellets Produced From Coffee Residue: Characterization of The Products Obtained Via Slow Pyrolysis. *Industrial Crops and Products*. 154: 1–11.
- Shariff, A., Syairah, N., Aziz, M., Ismail, N. I., and Abdullah, N. 2016. Corn Cob as Potential Feedstock for Slow Pyrolysis of Biomass. *Journal of Physical Science*. 27(2): 123–137.
- Sharma, S., Meena, R., Sharma, A., and Goyal, P. 2014. Biomass Conversion Technologies for Renewable Energy and Fuels: A Review Note. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 11(2): 28-35.
- Shimadzu. 2020. *Shimadzu's Fundamental Guide to Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)*. Shimadzu Corporation.
- Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Sembiring, Z., and Sihombing, I. P. 2021. Biogasoline Production by Zeolite-A Catalyzed Co-Pyrolysis of Torrefied Cassava Root and Palm Oil. *Journal of Physics: Conference Series*. 1751(1).
- Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Sembiring, Z., and Simanjuntak, A. 2019. Liquid Fuel Production by Zeolite-A Catalyzed Pyrolysis of Mixed Cassava Solid Waste and Rubber Seed Oil. *Oriental Journal of Chemistry*. 35(1):71–76.
- Simanjuntak, W., Sembiring, S., Pandiangan, K. D., Pratiwi, E., and Syani, F. 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, W., Pandiangan, K.D., Sembiring, Z., Syani, F., and Situmeang,

- R.T.M. 2016. The Use of Liquid Smoke as a Substitute for Nitric Acid for Extraction of Amorphous Silika from Rice Husk Through Sol-Gel Route. *Oriental Journal of Chemistry*. 32(4): 2079-2085.
- Sivamani, S., Chandrasekaran, A. P., Balajii, M., Shanmugaprakash, M., Bandegharai, A. H., and Baskar, R. 2018. Evaluation of the Potential of Cassava-Based Residues for Biofuels Production. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 17: 553–570.
- Smallman, R. E., and Bishop, R. J. 2000. *Modern physical metallurgy and materials engineering (6<sup>th</sup> ed)*. Hill International Book Company. p.22.
- Smets, K., Adriaensens, P., Reggers, G., Schreurs, S., Carleer, R., Yperman, J., and J. 2011. Flash Pyrolysis of Rapeseed Cake: Influence of Temperature on The Yield and The Characteristics of The Pyrolysis Liquid. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 90(2): 118–125.
- Srilai, S., Tanwongwan, W., Onpetch, K., Wongkitikun, T., Panpiemrasda, K., Panomsuwan, G., and Eiad-Ua, A. 2020. Synthesis of Zeolite a from Bentonite Via Hydrothermal Method: The Case Of Different Base Solution. *AIP Conference Proceedings*. 2279: 1–7.
- Stephenson, M. J., Atfield, M. P., Holmes, S. M., and Dryfe, R. A. W. 2015. Electrochemically Controlled Ion Exchange: Proton Ion Exchange with Sodium Zeolite X and A. *Journal of Solid State Electrochemistry*. 19(7): 1985–1992.
- Supriyanto, R., Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Situmeang, R. T. M., and Ahmadhani, M. Y. 2018. Chemical Composition of Liquid Fuel Produced by Co-Pyrolysis of Sugarcane Bagasse and Sludge Palm Oil Using Zeolite-Y as Catalyst. *Oriental Journal of Chemistry*. 34(3): 1533–1540.
- 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.
- Swoboda, A. R., and Kunze, G. W. 2006. Infrared Study of Pyridine Adsorbed on Montmorillonite Surface. *Texas Agricultural Experiment Station*. 277–288.
- Tanabe, K. 1981. *Solid Acid and Base Catalyst in Catalysis Science and Technology*. Springer-Link. Berlin. pp.231–273.
- Tanzania Bureau Of Standards. 2020. *Aluminium Foil For Packaging-Specification*. TBS. Tanzania. pp.1-9.
- Taufiqurrahmi, N., Mohamed, A. R., and Bhatia, S. 2010. Deactivation and Coke Combustion Studies of Nanocrystalline Zeolite Beta in Catalytic Cracking of Used Palm Oil. *Chemical Engineering Journal*. 163(3): 413–421.

- Treedet, W., and Suntivarakorn, R. 2017. Fast Pyrolysis of Sugarcane Bagasse Circulating Bed District Heating and Fluidized Reactor - Part A : Effect of Hydrodynamics Performance to Bio-Oil Production. *Energy Procedia*. 138: 801–805.
- Volli, V., and Purkait, M. K. 2015. Selective Preparation of Zeolite X and A from Flyash and its use as Catalyst for Biodiesel Production. *Journal of Hazardous Materials*. 297: 101–111.
- Yang, L., Liu, Z., Liu, Z., Peng, W., Liu, Y., and Liu, C. 2017. Correlation Between H- ZSM-5 Crystal Size and Catalytic Performance in The Methanol to Aromatics Reaction. *Chinese Journal of Catalysis*. 38: 683–690.
- Ye, W., Gao, Y., Ding, H., Liu, M., Liu, S., Han, X., and Qi, J. 2016. Kinetics of Transesterification of Palm Oil Under Conventional Heating and Microwave Irradiation, Using CaO as a Heterogeneous Catalyst. *Fuel*. 180: 574–579.