

**STUDI PENGARUH IMPREGNASI CAMPURAN LOGAM Ni DAN Co
PADA ZEOLIT ALAM LAMPUNG SEBAGAI KATALIS PADA
TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA MENJADI BIODIESEL**

(Skripsi)

Oleh

RIFKA AMALIA



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

ABSTRAK

STUDI PENGARUH IMPREGNASI CAMPURAN LOGAM Ni DAN Co PADA ZEOLIT ALAM LAMPUNG SEBAGAI KATALIS PADA TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA MENJADI BIODIESEL

Oleh

RIFKA AMALIA

Pada penelitian ini telah dilakukan studi pengaruh impregnasi campuran logam Ni dan Co pada Zeolit Alam Lampung (ZAL) pori hirarki sebagai katalis pada transesterifikasi minyak kelapa menjadi biodiesel. Penelitian diawali dengan aktivasi ZAL secara fisika pada suhu 800 °C, selanjutnya dilakukan modifikasi sistem pori dengan cara dealuminasi menggunakan larutan Na₂H₂EDTA 0,5 M. ZAL yang telah dimodifikasi sistem porinya (pori hirarki) kemudian diubah menjadi H-ZAL pori hirarki dengan larutan NH₄NO₃ 2 M. Katalis H-ZAL pori hirarki yang diperoleh kemudian diimpregnasi dengan campuran logam Ni dan Co untuk menambah situs asam dari H-ZAL pori hirarki dengan variasi konsentrasi sebesar 0, 3, 5, dan 7%. Katalis H-ZAL pori hirarki hasil impregnasi selanjutnya diuji aktivitas katalitiknya pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa menjadi biodiesel. Pada penelitian ini beberapa variabel penelitian seperti pengaruh konsentrasi campuran Ni-Co terhadap aktivitas katalitik H-ZAL, rasio minyak dengan metanol, dan jumlah katalis ditentukan untuk menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi Ni-Co optimum dari adalah 5%, dengan rasio minyak dan metanol 1:20, dan jumlah katalis 10% terhadap berat minyak. Biodiesel yang dihasilkan pada kondisi optimum ini sejumlah 82 mL, dengan jumlah minyak yang terkonversi sebesar 83%. Impregnasi campuran logam Ni dan Co pada H-ZAL dapat meningkatkan situs asam dari H-ZAL dan memberikan persen konversi yang lebih tinggi pada transesterifikasi minyak kelapa menjadi biodiesel. Biodiesel yang dihasilkan belum memenuhi persyaratan biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015.

Kata kunci : Zeolit alam, H-ZAL, aktivasi, dealuminasi, impregnasi, transesterifikasi, biodiesel.

ABSTRACT

STUDY ON EFFECT OF IMPREGNATION Ni AND Co MIXED METALS ON LAMPUNG NATURAL ZEOLITE AS A CATALYST FOR TRANSESTERIFICATION OF COCONUT OIL TO BIODIESEL

By

RIFKA AMALIA

Study on effect of impregnation Ni and Co mixed metals on hierarchical porous Lampung natural zeolite (ZAL) as a catalyst for transesterification of coconut oil to biodiesel was done in this research. Research begins with physical activation of ZAL at 800 °C, then the pore system is modified by dealumination using Na₂H₂EDTA 0.5 M solution. Modified ZAL (hierarchical ZAL) changed into hierarchical porous H-ZAL using NH₄NO₃ 2 M solution. Hierarchical porous H-ZAL catalyst impregnated using Ni and Co mixed metals with a concentration variations 0, 3, 5, and 7%. Impregnated hierarchical porous H-ZAL was tested in the catalytic performance in transesterification reaction of coconut oil to biodiesel. In this research, some variables such as effect of Ni-Co concentration on catalytic performance of hierarchical porous H-ZAL, ratio of oil and methanol, and total catalyst were determined to produce high quality biodiesel. The research result shows that optimum Ni-Co concentration is 5%, with ratio of oil and methanol is 1:20, and total catalyst is 10% to coconut oil weight. The production of biodiesel in optimum condition is 82 mL, with 83% total of coconut oil that converted to biodiesel. Impregnation of Ni and Co mixed metals on H-ZAL can increase acid sites of H-ZAL and give higher conversion in transesterification reaction of coconut oil to biodiesel. The biodiesel product does not meet the biodiesel requirements based on SNI 7182: 2015.

Keywords : Natural zeolite, H-ZAL, activation, dealumination, impregnation, transesterification, biodiesel.

**STUDI PENGARUH IMPREGNASI CAMPURAN LOGAM Ni DAN Co
PADA ZEOLIT ALAM LAMPUNG SEBAGAI KATALIS PADA
TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA MENJADI BIODIESEL**

Oleh

RIFKA AMALIA

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
2019**

Judul : STUDI PENGARUH IMPREGNASI CAMPURAN LOGAM NI DAN Co PADA ZEOLIT ALAM LAMPUNG SEBAGAI KATALIS PADA TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA MENJADI BIODIESEL

Nama : Rifka Amalia

NPM : 1517011021

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Mita Rilyanti, M.Si.
NIP. 197205302000032001

Prof. Dr. Buhani, M.Si.
NIP. 196904161994032003

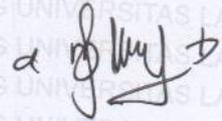
**2. Ketua Jurusan Kimia
FMIPA Universitas Lampung**

Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 197407052000031001

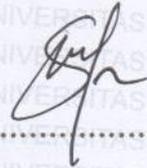
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

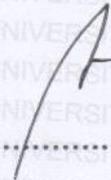
Ketua : Dr. Mita Rilyanti, M.Si.



Sekretaris : Prof. Dr. Buhani, M.Si



Penguji Bukan Pembimbing : Dra. Aspita Laila, M.S.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.
NIP. 196406041990031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 Agustus 2019

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rifka Amalia
NPM : 1517011021
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya, bahwa skripsi saya berjudul :

“Studi Pengaruh Impregnasi Campuran Logam Ni dan Co pada Zeolit Alam Lampung sebagai Katalis pada Transesterifikasi Minyak Kelapa menjadi Biodiesel”

- Adalah benar karya sendiri dan saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 28 Agustus 2019



(Rifka Amalia)
NPM. 1517011021

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Rifka Amalia, lahir di Purwokerto pada tanggal 26 Oktober 1997, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari Bapak Saiful Bahri dan Ibu Poniyah. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak Alqur'an Tanjung Harapan pada tahun 2003, SD Negeri 4 Tanjung Harapan pada tahun 2009, SMP Negeri 1 Seputih Banyak pada tahun 2012, dan SMA Negeri 1 Seputih Banyak pada tahun 2015. Pada tahun 2015 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, Penulis juga aktif berorganisasi. Organisasi yang pernah diikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) periode 2015/2016 dan anggota Biro Penerbitan (BP) periode 2016/2017. Selain mengikuti organisasi, penulis juga pernah menjadi asisten Praktikum Kimia Anorganik I tahun 2018 dan Kimia Anorganik II tahun 2019 untuk mahasiswa kimia. Pada tahun 2018 penulis menyelesaikan kerja praktik dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi *Nanofiber* Polisulfon dengan Metode Elektrospinning” di Laboratorium Komposit dan Nanomaterial, Loka

Penelitian Teknologi Bersih (LPTB) Lembaga Ilmu Penelitian Indonesia (LIPI) Bandung. Pada tahun 2018 Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik Badan Nasional Penempatan dan Perlindungan Tenaga kerja Indonesia (BNP2TKI) di Desa Kedondong, Kecamatan Kedondong, Kabupaten Pesawaran periode II.

Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawab kepada :

*Kedua orang tuaku,
Bapak Saiful Bahri dan Ibu Poniyah yang telah memberikan kasih sayang, cinta, do'a, dukungan, dan motivasinya.*

*Rasa hormatku kepada:
Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si.
Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si.
Terima kasih atas ilmu, nasihat, dan kesabaran dalam membimbing selama ini.*

Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia atas seluruh ilmu yang telah diberikan

Keluarga besar dan sahabat

*Almamater Tercinta
Universitas Lampung*

MOTTO

**Allah tidak membebani seseorang melainkan dengan
kesanggupannya
(Q.S. Al-Baqarah : 286)**

**Do not carry your mistakes around with you. Instead,
place them under your feet and use them as stepping
stones (Unknown)**

**Life is like riding a bicycle. To keep your balance, you
must keep moving (Albert Einstein)**

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ***"Studi Pengaruh Impregnasi Campuran Logam Ni dan Co pada Zeolit Alam Lampung sebagai Katalis pada Transesterifikasi Minyak Kelapa menjadi Biodiesel"*** sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia FMIPA Unila. Shalawat serta salam tak lupa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya yang selalu taat mengikuti dan mengamalkan ajaran dan sunnahnya. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua, adik, dan andung penulis yang selalu memberikan kasih sayang, semangat, dukungan, motivasi, dan do'a untuk penulis;
2. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku pembimbing 1 penelitian atas segala bimbingan, semangat, bantuan, nasihat, pelajaran hidup, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini;
3. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si. selaku pembimbing 2 penelitian atas segala bimbingan, bantuan, nasihat, motivasi, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini;
4. Ibu Dra. Aspita Laila, M.S. selaku pembahas atas segala nasihat, motivasi, kritik, dan saran yang sangat membangun dalam penulisan skripsi ini;

5. Bapak Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing akademik penulis yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan saran selama perkuliahan;
6. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung;
7. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
8. Segenap staf pengajar dan karyawan khususnya Jurusan Kimia dan FMIPA Universitas Lampung pada umumnya. Semoga Allah SWT membalas kebaikan serta keberkahan yang tak ternilai;
9. Desi Nurjanah, Ella Gita Silviana, Eka Fitiriana, dan Putri Nursela sebagai *partner* penelitian yang selalu membantu, memberi nasihat, semangat, dan menjadi pendengar yang baik bagi penulis;
10. Sahabat perkuliahanku sedari MABA : Dwi Nurhayati, Putri Damayanti, Reni wulandari, Risyda Umami, dan Windi Ratnasari yang telah menemani penulis dalam berbagai keadaan dan perasaan. *It's great previllage to know you all*;
11. Indrianti yang telah menjadi teman satu atap penulis sejak awal hingga akhir perkuliahan. Terima kasih semangat, bantuan, tangis, dan juga tawanya;
12. Keluarga “gak pance” Anissa Fitri, Erma Marlita, Fike Aprilofitasari, Imam Rifai, dan Ananda Dharmaning Arta yang telah menjadi teman baik bagi penulis;
13. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Ayudina Rahmawati, Sri Budi Asih, Widya Ekasari, Alifa Dyah Savira, Nadya Syarifatul, Tri Fatmasari, Annisa Tri Agustin, Naina, Tri Julianti,

Dwi Saraswati, Miranda Sari, Ade Rika, Tri Handayani, Tri Agus
Wijayanti, Desy Permatasari, Dinda Sefta, Lia Septiani, Mona Dwi Fenska,
Rama Aji, Sri Lestari, Asti Dwi, Hani Maryuli, Dinda Sefta, dan Lia
Septiani yang menemani penulis selama penelitian;

14. Ainun Nadiyah , Cindy Claudia Putri, Lucia Arum Hartaty, Devi Tri Lestari,
dan Rica Royjanah selaku kakak tingkat satu bimbingan yang memberi nasihat
dan semangat;
15. Keluarga Chem15try Unila yang tidak dapat disebutkan satu per satu,
terimakasih atas kebersamaan yang telah dilalui dalam kehidupan di kampus
dari awal sampai sekarang. *See you on top guys!*;
16. Kakak dan adik tingkat penulis; Kimia angkatan 2012, 2013, 2014, 2016, 2017,
dan 2018 yang tidak bisa disebutkan satu per satu;
17. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyusunan
skripsi ini.

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

Bandar Lampung, Juni 2019
Penulis,

Rifka Amalia

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian	4
C. Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Zeolit.....	6
B. Aktivasi Zeolit Alam	10
1. Aktivasi Fisika	11
2. Aktivasi Kimia	11
C. Dealuminasi	12
D. Impregnasi Logam	13
E. Sifat Katalitik Logam Ni dan Co	15
F. Katalis Transesterifikasi	16
G. Biodiesel	18
H. Minyak Kelapa (<i>Coconut Oil</i>)	20
I. Reaksi Transesterifikasi	21
J. Karakterisasi Katalis	22
1. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	22
2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	23
3. <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	25
4. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	26
5. <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET).....	27
K. Karakterisasi Biodiesel	29
1. <i>Gas Chromathography-Mass Spectroscopy</i> (GC-MS)	29
2. Titik Nyala (<i>Flash Point</i>).....	31
3. Densitas.....	32
III. METODE PENELITIAN	33
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	33
B. Alat dan Bahan	34

C. Prosedur	34
1. Preparasi Zeolit Alam Lampung	34
2. Aktivasi Zeolit Alam Lampung	35
3. Persiapan Katalis.....	35
4. Uji Aktivitas Katalis	36
5. Karakterisasi Katalis	38
6. Karakterisasi Produk Transesterifikasi	40
IV.HASIL DAN PEMBAHASAN	43
A. Preparasi Zeolit Alam Lampung.....	44
B. Aktivasi Zeolit Alam	44
C. Modifikasi Sistem Pori ZAL	45
D. Pembuatan H-ZAL.....	47
E. Impregnasi Campuran Logam Ni dan Co pada H-ZAL	48
F. Uji Aktivitas Katalis	49
1. Pengaruh Impregnasi Ni-Co terhadap Aktivitas Katalitik H-ZAL	50
2. Optimasi Perbandingan Minyak : Metanol	52
3. Optimasi Jumlah Katalis	53
G. Karakterisasi Katalis.....	55
1. <i>X-Ray Fluoresence (XRF)</i>	56
2. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	57
3. <i>Brunauer-Emmett-Teller (BET)</i>	59
4. <i>Fourier Transform Infra-Red (FTIR)</i>	61
5. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	63
H. Karakterisasi Biodiesel	64
1. <i>Gas Chromathography-Mass Spectroscopy (GC-MS)</i>	65
2. Uji Parameter Fisik Biodiesel	67
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	69
A. Simpulan	69
B. Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rumus kimia beberapa zeolit sintetik	9
2. Komposisi asam lemak minyak kelapa	21
3. Data XRF ZAL tanpa dealuminasi dan ZAL dealuminasi	46
4. Hasil penentuan konsentrasi impregnasi optimum	51
5. Hasil optimasi perbandingan minyak : metanol.....	52
6. Hasil penentuan jumlah katalis optimum.....	54
7. Data XRF katalis H-ZAL dan Ni-Co/H-ZAL.	56
8. Persen konversi minyak dari katalis H-ZAL dan Ni-Co/H-ZAL.....	57
9. Data BET katalis H-ZAL sebelum dan sesudah impregnasi.....	59
10. Data jumlah situs asam katalis	61
11. Interpretasi gugus fungsi pada H-ZAL dan Ni-Co/H-ZAL.	62
12. Komponen biodiesel hasil transesterifikasi minyak kelapa dengan katalis Ni-Co/H-ZAL.	66
13. Hasil uji parameter fisik biodiesel.	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tetrahedral alumina dan silika (TO_4) pada struktur zeolit.....	6
2. Struktur umum zeolit	7
3. Distribusi logam yang merata pada permukaan zeolit	14
4. Reaksi transesterifikasi	21
5. Enam tipe adsorpsi dan desorpsi isoteremis padatan.....	28
6. Skema <i>Gas Chromathography-Mass Spectroscopy</i> (GC-MS)	29
7. Kromatogram biodiesel dari minyak kelapa	30
8. (a) ZAL sebelum ditumbuk, (b) ZAL sesudah ditumbuk, (c) ZAL sesudah diayak.....	44
9. (a) ZAL sebelum aktivasi, (b) ZAL setelah aktivasi.....	45
10. ZAL hasil dealuminasi.....	47
11. Proses pertukaran ion ammonium dengan kation pada ZAL.....	47
12. (a) ZAL, (b) H-ZAL.....	48
13. (a) H-ZAL, (b) Ni-Co/H-ZAL 3%, (c) Ni-Co/H-ZAL 5%, (d) Ni-Co/H-ZAL 7%	49
14. Pemisahan biodiesel dalam corong pisah	50
15. Hubungan pengaruh konsentrasi Ni-Co terhadap jumlah minyak yang terkonversi.....	51
16. Hubungan rasio minyak dengan metanol terhadap jumlah minyak yang terkonversi.....	53

17. Hubungan jumlah katalis terhadap jumlah minyak yang terkonversi.....	54
18. Difraktogram (a) H-ZAL dan (b) Ni-Co/H-ZAL.....	58
19. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi pada (a) H-ZAL dan (b) Ni-Co/H-ZAL.	60
20. Spektrum FTIR (a) H-ZAL dan (b) Ni-Co/H-ZAL.	62
21. Foto morfologi SEM (a) katalis H-ZAL, (b) katalis Ni-Co/H-ZAL dengan perbesaran 5000x.	64
22. Kromatogram biodiesel transesterifikasi minyak kelapa dengan katalis Ni-Co/H-ZAL 5%.	65

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan energi Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk Indonesia. Sementara cadangan energi tidak terbarukan, seperti minyak bumi, gas bumi, dan batu bara semakin menipis. Berdasarkan Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Tahun 2015-2019, cadangan minyak bumi Indonesia sebesar 3,6 miliar barel diperkirakan akan habis dalam 13 tahun mendatang (Sa'adah dkk., 2018). Krisis kebutuhan minyak bumi ini dapat disiasati dengan mengembangkan bahan bakar alternatif yang terbarukan, salah satu contohnya adalah biodiesel (Udyani dan Yustia, 2014).

Biodiesel sebagai bahan bakar alternatif memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan bahan bakar minyak bumi diantaranya ramah lingkungan, emisi pencemaran udara yang relatif rendah, dapat terurai secara alami (*biodegradable*), dan bisa digunakan tanpa memerlukan proses modifikasi mesin (Noiroj *et al.*, 2009). Biodiesel dapat dibuat dari sumber daya nabati seperti minyak kelapa, minyak kedelai, kacang tanah, jarak pagar, dan juga minyak jelantah. Pada penelitian ini digunakan minyak kelapa karena

minyak yang terkandungnya cukup banyak yaitu 30-35% dari berat buah kelapa basah (Dwiyuni, 2006).

Proses pembuatan biodiesel dari minyak kelapa dapat dilakukan melalui reaksi transesterifikasi. Pada reaksi transesterifikasi umumnya digunakan bahan kimia (katalis) untuk mempercepat pembentukan metil ester, guna menghasilkan rendemen dalam jumlah besar dengan mutu yang baik. Katalis yang dapat digunakan dalam reaksi transesterifikasi dibagi menjadi dua kelompok besar, yakni katalis homogen dan katalis heterogen. Salah satu katalis heterogen 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 dimensinya. Secara umum, zeolit dibagi menjadi dua, yaitu zeolit sintetik dan zeolit alam. Provinsi Lampung sendiri memiliki potensi sumber zeolit alam yang melimpah. Pada tahun 2012, data Direktorat Pengembangan Potensi Daerah (BKPN) menyatakan bahwa Lampung memiliki sumber zeolit alam sebesar 31.173.505 ton. Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam sehingga mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg, dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik (Lestari, 2010). Untuk memperoleh zeolit alam dengan daya guna tinggi diperlukan suatu perlakuan yaitu dengan aktivasi.

Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika dan kimia. Pada penelitian ini dilakukan aktivasi fisika dengan pemanasan pada suhu 800 °C karena menghasilkan luas permukaan zeolit yang lebih besar dibandingkan aktivasi secara kimia (Nadiyah, 2018). Untuk memperoleh pori hirarki pada zeolit alam, maka dilakukan modifikasi sistem pori berupa dealuminasi, yaitu pelepasan kerangka Al untuk menambah rasio Si/Al menggunakan larutan $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$.

Zeolit alam telah banyak dikembangkan sebagai katalis asam dalam reaksi transesterifikasi. Semakin banyak jumlah situs asam suatu katalis, maka situs aktif yang terkandung dalam katalis semakin banyak, sehingga aktivitas katalitik juga semakin meningkat. Salah satu cara untuk meningkatkan situs asam dari zeolit adalah melalui impregnasi logam transisi. Impregnasi logam aktif telah banyak digunakan agar efektifitas katalis meningkat, salah satunya ialah logam Ni. Menurut Rahayu dkk. (2013), logam Ni yang diimpregnasikan ke dalam zeolit akan meningkatkan jumlah situs asam dari zeolit.

Logam Ni telah banyak dikombinasikan dengan logam transisi lain yang memiliki karakter katalis seperti Ni-Cr/ZA (Nurhayati dan Wigani, 2014) dan Ni-Mo/ZA (Efiyanti dan Santi, 2016). Logam Co merupakan salah satu logam transisi yang juga dapat digunakan sebagai campuran logam Ni untuk katalis karena dapat meningkatkan keasaman zeolit (Dewi dkk., 2016). Berdasarkan uraian tersebut, pada penelitian ini dilakukan studi pengaruh impregnasi campuran logam Ni dan Co pada Zeolit Alam Lampung (ZAL) sebagai katalis asam pada transesterifikasi minyak kelapa menjadi biodiesel. ZAL yang telah

diimpregnasi campuran logam Ni dan Co selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Brunauer-Emmet-Teller* (BET), *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), kemudian biodiesel yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *Gas Chromathography-Mass Spectroscopy* (GC-MS), dan uji parameter fisik meliputi titik nyala (*flash point*) dan densitas.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari karakteristik ZAL terimpregnasi campuran logam Ni dan Co melalui karakterisasi menggunakan XRF, XRD, BET, FTIR, dan SEM.
2. Mempelajari aktivitas katalitik ZAL terimpregnasi campuran logam Ni dan Co pada transesterifikasi minyak kelapa menjadi biodiesel.
3. Mempelajari karakteristik biodiesel yang dihasilkan meliputi analisis komposisi dengan GC-MS, dan uji parameter fisik meliputi densitas dan titik nyala.

C. Manfaat Penelitian

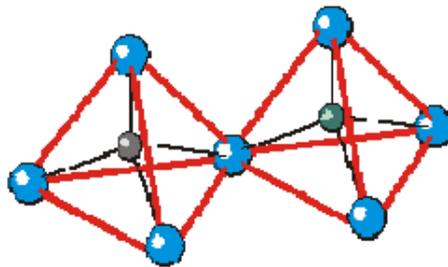
Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi terkait pemanfaatan sumber daya alam mineral berupa zeolit alam yang ada di Lampung sebagai katalis transesterifikasi minyak kelapa menjadi biodiesel.
2. Memberikan informasi ilmiah terkait pengaruh impregnasi campuran logam Ni dan Co pada ZAL terhadap karakteristik katalis dan aktivitas katalis pada transesterifikasi minyak kelapa menjadi biodiesel.
3. Memberikan informasi mengenai pengolahan minyak kelapa yang dapat dimanfaatkan sebagai produk biodiesel menggunakan katalis ZAL termodifikasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

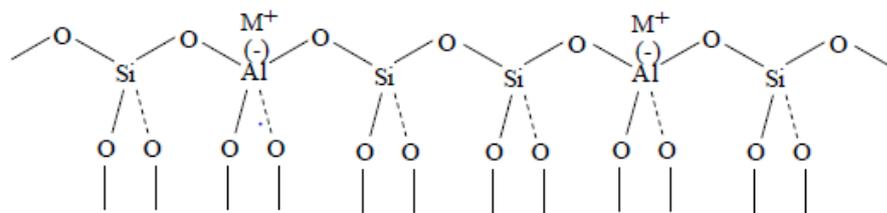
A. Zeolit

Zeolit ditemukan oleh seorang ahli mineral dari Swedia, bernama Baron Axel Frederick Cronstedt pada tahun 1756. Zeolit berasal dari kata *zein* dan *lithos* yang berarti batu api atau *boiling stone*. Zeolit merupakan kelompok mineral alumina silika terhidrasi yang secara umum memiliki rumus empiris $M_x \cdot D_y \cdot (Al_{x+2y} \cdot Si_{x+2y} \cdot O_{2n}) \cdot mH_2O$, notasi M dan D adalah K, Na, atau kation monovalen lainnya, x dan y adalah bilangan tertentu, n adalah muatan dari ion logam, dan m merupakan jumlah molekul air kristal yang selalu berubah-ubah (Susanti dan Panjaitan, 2010). Zeolit mempunyai kerangka struktur tiga dimensi seperti yang terlihat pada Gambar 1 yang terdiri dari rongga (*cavity*) dan saluran (*channel*).



Gambar 1. Tetrahedral alumina dan silika (TO_4) pada struktur zeolit (Thamzil 2005).

Zeolit tersusun atas unit-unit tetrahedron $(\text{AlO}_4)^{5-}$ dan $(\text{SiO}_4)^{4-}$ yang saling berikatan melalui atom oksigen membentuk pori-pori dengan ukuran pori antara 2 sampai 8 Å, tergantung pada jenis mineralnya. Ion Si bervalensi 4 sedangkan Al bervalensi 3. Pada struktur zeolit Si^{4+} dapat diganti dengan Al^{3+} sehingga terbentuk muatan berlebih pada Al. Hal ini mengakibatkan struktur zeolit kelebihan muatan negatif. Untuk menetralkan muatan negatif kerangka zeolit, zeolit mengikat kation-kation alkali atau alkali tanah seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , atau Sr^{2+} . Kation-kation tersebut terletak di luar tetrahedral, dapat bergerak bebas dalam rongga-rongga zeolit dan dapat dipertukarkan dengan kation-kation lain (Tsitsishivili *and* Andronikashvili, 1992). Struktur umum zeolit dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur umum zeolit (Tsitsishivili *and* Andronikashvili, 1992).

Berdasarkan proses pembentukannya zeolit dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu:

1. Zeolit Sintetik

Jenis zeolit ini merupakan zeolit yang sengaja dibuat dengan rekayasa sedemikian rupa sehingga mendapatkan karakter yang sama dengan zeolit alam. Zeolit sintetik sangat bergantung pada jumlah Al dan Si dari bahan penyusunnya. Prinsip dasar dari produksi zeolit sintetik adalah

komponennya yang terdiri dari silika dan alumina, sehingga dapat disintesis dari berbagai bahan baku yang mengandung kedua komponen tersebut.

Komponen minor dalam zeolit juga dapat ditambahkan dengan mudah menggunakan senyawa murni, sehingga zeolit sintetis memiliki komposisi yang tetap dengan tingkat kemurnian yang tinggi.

Menurut Rini (2010), berdasarkan jumlah komponen Si dan Al sebagai penyusun zeolit, maka zeolit sintetis dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu:

1. Zeolit sintetis dengan kadar Si rendah

Zeolit sintetis jenis ini banyak mengandung Al, berpori, mempunyai nilai ekonomi yang tinggi karena efektif untuk pemisahan dengan kapasitas besar. Volume pori-porinya dapat mencapai $0,5 \text{ cm}^3$ setiap 1 cm^3 volume zeolit.

2. Zeolit sintetis dengan kadar Si sedang

Jenis zeolit modernit mempunyai perbandingan Si/Al = 5, sangat stabil, maka diusahakan membuat zeolit dengan kadar Si yang lebih tinggi dari satu yang kemudian diperoleh zeolit Y dengan perbandingan Si/Al = 1-3. Contoh zeolit sintetis jenis ini adalah zeolit omega.

3. Zeolit sintetis dengan kadar Si tinggi

Zeolit jenis ini sangat hidrofilik dan akan menyerap molekul yang tidak polar sehingga baik untuk digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Contoh zeolit sintetis jenis ini misalnya ZSM-5, ZSM-11, ZSM-21, dan ZSM-24.

Dengan perkembangan penelitian, dewasa ini telah dikenal beragam zeolit sintetik, dan beberapa diantaranya disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rumus kimia beberapa zeolit sintetik

Zeolit	Rumus Kimia
Zeolit A	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$
Zeolit N-A	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
Zeolit H	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Zeolit L	$(\text{K}_2\text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Zeolit X	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,5\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Zeolit Y	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 8,9\text{H}_2\text{O}$
Zeolit P	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2-5\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Zeolit O	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
Zeolit Ω	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
Zeolit ZK-4	$0,85\text{Na}_2\text{O} \cdot 0,15(\text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3,3\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Zeolit ZK-5	$(\text{R}, \text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4-6\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

(Georgiev, 2009).

2. Zeolit Alam

Zeolit alam merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen, dan batuan metamorfosa yang mengalami pelapukan karena perbedaan cuaca sehingga terbentuk mineral-mineral zeolit (Lestari, 2010). Ada hampir 50 tipe zeolit alam yang berbeda-beda. Perbedaan pada tiap jenis zeolit antara lain struktur kristal, jumlah komposisi kimia, massa jenis partikel, selektivitas kation, dan pori-pori molekul (Charlena dan Rosdiana, 2008). Zeolit alam memiliki luas permukaan yang cukup besar yang dapat dimanfaatkan dalam pemurnian minyak dan industri petrokimia, adsorben, pemisahan gas, agrikultur, dan katalis. Komposisi kimia zeolit bergantung pada suhu, tekanan uap air, dan komposisi air tanah lokasi yang menyebabkan warna bahan galian zeolit

beraneka ragam, antara lain hijau, putih kehijauan, coklat, abu-abu kebiruan, dan lain sebagainya. Zeolit alam juga memiliki stabilitas termal yang tinggi, harganya murah serta keberadaannya cukup melimpah. Namun demikian zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor, sehingga untuk mengaplikasikan zeolit alam harus diaktivasi terlebih dahulu.

Zeolit alam yang telah ditambang secara intensif di Indonesia di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Lampung: Campang Tiga, Sidomulyo, Talang Padang, dan Cukuh Balak.
2. Jawa Barat: Bayah (Banten), Cikalong, dan Tasikmalaya.
3. Jawa Tengah: Wangon, dan Cilacap.
4. Jawa Timur: Arjosari (Pacitan), Trenggalek, Blitar, dan Malang.

Dari penambangan zeolit tersebut, sebagian besar dikenal sebagai jenis zeolit klinoptilolit dan mordenit (Las dan Zamroni, 2002).

B. Aktivasi Zeolit Alam

Terlepas dari aplikasinya yang luas, zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg, dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit. Untuk memperbaiki karakter zeolit alam sehingga dapat digunakan sebagai katalis, adsorben, atau aplikasi lainnya, biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu (Mockovciakova *et al.*, 2007). Proses aktivasi

bertujuan meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori zeolit. Ada 2 cara yang umum digunakan dalam proses aktivasi zeolit, yaitu secara fisika dan secara kimia.

1. Aktivasi Fisika

Aktivasi zeolit alam secara fisika dilakukan melalui beragam cara seperti pengecilan ukuran butir, pengayakan, pemanasan pada suhu tinggi yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika dan kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan melalui pemanasan pada suhu tinggi antara 500-1000 °C selama beberapa jam. Tujuannya untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan (Ertan *and* Akicioglu, 2005).

2. Aktivasi Kimia

Aktivasi zeolit secara kimia bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Bahan kimia yang dapat digunakan untuk proses aktivasi kimia zeolit alam adalah larutan asam (H_2SO_4 , HCl , dan HNO_3) dan larutan basa (NaOH dan KOH). Proses aktivasi zeolit dengan perlakuan asam HCl pada konsentrasi 0,1 N hingga 11 N menyebabkan zeolit mengalami dealuminasi dan dekationisasi yaitu keluarnya Al dan kation-kation dalam kerangka zeolit. Aktivasi asam menyebabkan bertambahnya luas permukaan zeolit karena berkurangnya pengotor yang menutupi pori-pori

zeolit (Lestari, 2010). Luas permukaan yang bertambah diharapkan meningkatkan kemampuan zeolit dalam aktivitasnya. Proses aktivasi kimia dengan asam dapat meningkatkan kristalinitas, keasaman, dan luas permukaan.

C. Dealuminasi

Dealuminasi adalah metode komersil yang dapat digunakan untuk mendapatkan jumlah Al yang diinginkan dengan cara pelepasan atom Al dari kerangka zeolit. Kenaikan rasio Si/Al akan memberikan pengaruh terhadap sifat-sifat zeolit seperti berikut ini:

1. Terjadinya perubahan medan magnet elektrostatik dalam zeolit, sehingga mempengaruhi interaksi adsorpsi zeolit. Zeolit bersilika rendah akan bersifat hidrofilik sementara zeolit bersilika tinggi bersifat hidrofobik dan lipofilik.
2. Zeolit bersilika rendah dapat stabil pada suhu 800-900 K, sedangkan zeolit bersilika tinggi stabil hingga suhu 1300 K.
3. Zeolit bersilika rendah mudah rusak pada pH kurang dari 4, sedangkan zeolit bersilika tinggi lebih stabil dalam lingkungan asam kuat.
4. Kekuatan asam akan meningkat, semakin banyak kandungan Al dalam *framework* zeolit (rasio Si/Al menurun) akan menyebabkan kekuatan atau total situs asam zeolit menurun. Berdasarkan data tersebut dapat dinyatakan bahwa dealuminasi akan menyebabkan peningkatan keasaman zeolit.

Proses dealuminasi dapat digunakan untuk memperoleh pori hirarki yaitu pori tambahan berskala meso (2-50 nm) selain keberadaan pori mikro (< 2 nm) pada zeolit. Pada prinsipnya, tujuan penciptaan mesoporositas pada permukaan kristal zeolit adalah untuk meningkatkan molekul difusivitas, tingkat keseluruhan proses yang dikatalisasi karena kemudahan akses pori dan untuk menghambat proses penonaktifan katalis (Rilyanti *et al.*, 2016).

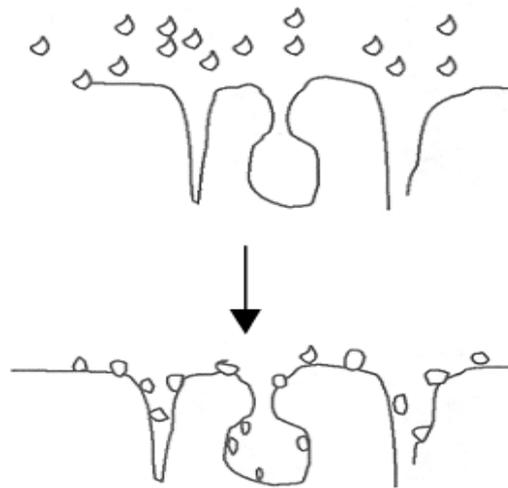
Menurut Sherrington *and* Kybett (2001), metode yang dapat digunakan untuk dealuminasi zeolit antara lain:

1. Perlakuan hidrotermal;
2. Perlakuan kimia;
 - a. Dealuminasi dengan penyisipan Si
 - b. Dealuminasi tanpa penyisipan Si
3. Perlakuan hidrotermal dan kimia.

D. Impregnasi Logam

Metode preparasi yang umum digunakan untuk menempatkan komponen aktif logam ke dalam pengemban adalah metode impregnasi. Prinsip impregnasi adalah memasukkan katalis logam secara paksa ke dalam rongga-rongga pengemban. Impregnasi juga merupakan prosedur yang umum untuk membuat katalis dengan dua logam. Impregnasi dua logam dapat dibuat dengan koimpregnasi yaitu kedua garam logam dimasukkan dalam waktu yang sama

atau dengan impregnasi terpisah yaitu garam logam pertama dimasukkan kemudian diikuti garam logam yang kedua. Dalam koimpregnasi, letak dan sifat logam dalam pengemban tergantung pada jenis garam prekursor dan juga kecenderungan untuk membentuk paduan dua komponen (Yusnani, 2008). Metode impregnasi terdiri dari dua macam, yaitu impregnasi kering (*dry impregnation*) dan impregnasi basah (*wet impregnation*). Metode yang umum digunakan dalam pembuatan katalis adalah impregnasi basah karena proses pengerjaannya lebih mudah (Lestari dkk., 2006). Impregnasi logam transisi pada zeolit mempunyai tujuan untuk menambah jumlah situs aktif (*active site*) dengan distribusi logam yang merata pada permukaan zeolit seperti pada Gambar 3 sehingga akan meningkatkan situs asam total dari zeolit. Peningkatan situs asam pada zeolit akan meningkatkan aktivitas dari zeolit sebagai katalis.



Gambar 3. Distribusi logam yang merata pada permukaan zeolit (Setyawan, 2002).

E. Sifat Katalitik Logam Ni dan Co

Logam transisi sering digunakan sebagai katalis heterogen. Logam transisi tersebut bersifat asam dan berperan dalam reaksi perpindahan elektron. Logam transisi yang digunakan sebagai katalis sebagian besar adalah logam golongan VIII B. Sifat-sifat kimia dan fisika unsur golongan transisi sangat ditentukan oleh orbital d . Kemampuan logam transisi dalam mengkatalisis reaksi sangat berkaitan dengan keberadaan elektron-elektron pada orbital d yang berbau dengan keadaan elektronik pada orbital s dan p yang terdekat. Akibatnya akan timbul keadaan elektronik berenergi rendah dalam jumlah besar dan orbital kosong yang sangat ideal untuk reaksi katalisis (Sibarani, 2012).

Salah satu logam transisi golongan VIII B yang biasa digunakan adalah Nikel. Nikel dalam sistem periodik unsur memiliki nomor atom 28 dan mempunyai elektron terluar pada orbital d dengan konfigurasi elektron $[\text{Ar}]3d^84s^2$. Logam nikel mempunyai orbital $3d$ yang belum penuh, maka sesuai aturan Hund, terdapat elektron-elektron yang tidak berpasangan pada orbital d . Fenomena ini menjadikan logam nikel memiliki situs asam yang dapat menjamin keberhasilan reaksi katalitik (Rahayu dkk., 2013).

Selain nikel, logam kobalt merupakan salah satu logam transisi yang dapat digunakan sebagai katalis. Dalam kondisi sebagai logam murni maupun bentuk oksida logam, logam kobalt memiliki aktivitas katalitik karena kobalt memiliki orbital kosong yang dapat dimanfaatkan sebagai situs katalitik logam. Namun, apabila logam kobalt secara langsung digunakan sebagai katalis, akan

terjadi *sintering*. *Sintering* akan menyebabkan terjadinya aglomerasi pada atom-atom logam, yaitu berupa penumpukan atom logam di satu posisi. Hal ini akan menyebabkan penurunan luas permukaan spesifik katalis dan menurunkan aktivitas katalitik. Untuk mencegah *sintering* dan aglomerasi, maka diimbangkanlah logam transisi tersebut dalam material berpori. Logam kobalt yang diimbangkan pada material zeolit bertujuan untuk meningkatkan sifat keasaman material berpori seperti zeolit (Sibarani, 2012).

F. Katalis Transesterifikasi

Katalis merupakan suatu senyawa yang dapat meningkatkan laju reaksi tetapi tidak dikonsumsi oleh reaksi. Katalis digunakan secara luas baik di alam, laboratorium, dan industri (Sukardjo, 2002). Katalis yang berada pada fase yang sama (*liquid*) dengan reaktan disebut sebagai katalis homogen, sedangkan katalis yang berada pada fase yang berbeda dengan reaktannya (dapat berupa padatan, cairan yang tidak dapat bercampur ataupun gas) disebut sebagai katalis heterogen.

1. Katalis Homogen

Katalis homogen terdiri atas dua jenis yaitu katalis asam homogen dan katalis basa homogen. Katalis yang umum digunakan dalam reaksi transesterifikasi yaitu KOH dan NaOH. Penggunaan katalis ini menimbulkan masalah pada proses pemisahan produk reaksi sehingga menghasilkan limbah pencucian dalam jumlah yang besar. Di samping itu, katalis basa bekerja dengan baik pada batas asam lemak bebas $< 0,5\%$. Jika

bahan baku mengandung asam lemak bebas tinggi, akan terjadi reaksi antara katalis dengan asam lemak bebas membentuk sabun (Shu *et al.*, 2010).

Katalis asam homogen yang digunakan dalam reaksi transesterifikasi misalnya H_2SO_4 , HCl , dan H_3PO_4 . Akan tetapi penggunaan katalis ini memerlukan waktu reaksi yang lama, menyebabkan korosi pada reaktor yang digunakan, rasio molar alkohol dengan minyak harus besar, serta memerlukan suhu yang tinggi (Helwani *et al.*, 2009).

2. Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fasa berbeda antara reaktan dan produk yang dihasilkan, sehingga dapat dipisahkan dengan mudah dan memungkinkan untuk didaur ulang sehingga lebih bersifat ramah lingkungan. Di samping itu, 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 (Endalew *et al.*, 2011). Pada prinsipnya terdapat dua komponen dasar penyusun katalis heterogen, yakni situs aktif dan penyangga. Situs aktif merupakan komponen utama pada katalis heterogen yang berupa logam-logam transisi yang memiliki orbital d kosong yang berfungsi untuk mempercepat dan mengarahkan reaksi. Beberapa logam yang telah diaplikasikan sebagai situs aktif diantaranya Fe (Kusworo dkk., 2013), Ni (Tadeus dkk., 2013), dan Cr (Trisunaryanti dkk., 2002). Situs aktif ini dapat menjadi tidak aktif karena beberapa sebab seperti kehadiran CO , CO_2 , senyawa-senyawa sulfur, serta suhu reaksi yang terlalu tinggi. Semakin

banyak situs aktif yang terdapat pada katalis maka reaksi akan berjalan semakin baik.

Penyangga adalah zat padat yang berpori dimana situs aktif ditempatkan. Berbagai zat padat telah digunakan sebagai penyangga katalis heterogen, antara lain adalah alumina (Evangelista *et al.*, 2012), silika (Eddy dkk., 2016), dan zeolit (Wu *et al.*, 2013). 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. Zeolit banyak dimanfaatkan sebagai adsorben (logam berat, zat warna, zat beracun, polusi gas, cair, dan padat), penukar ion, dan katalis (produksi biodiesel, perengkahan).

G. Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui seperti minyak nabati maupun lemak hewani. Minyak nabati maupun lemak hewani sebagai bahan dasar biodiesel mengandung senyawa monoalkil ester sehingga dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel. Namun, penggunaan minyak nabati atau lemak hewani secara langsung memiliki beberapa kekurangan seperti viskositas yang tinggi, angka setana yang rendah, dan

volatilitas yang rendah sehingga dapat menyebabkan terbentuknya deposit di injektor mesin diesel (Fukuda, 2001).

Biodiesel memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan minyak solar, antara lain:

1. Sumber minyak nabati mudah diperoleh.
2. Proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati mudah dan cepat.
3. Limbah dari proses pembuatan biodiesel ramah lingkungan (*biodegradable*) dan bernilai ekonomis.
4. Bebas dari logam berat seperti sulfur dan senyawa aromatik.
5. Dapat terdegradasi secara alami.

Biodiesel dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi, yaitu reaksi antara minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol menghasilkan alkil ester (biodiesel) dan hasil samping gliserol dengan bantuan katalis (Noiroj *et al.*, 2009). Katalis digunakan untuk meningkatkan kecepatan reaksi dan *yield* produk. Karena reaksi ini merupakan reaksi bolak-balik (*reversible*), dibutuhkan alkohol berlebih untuk menggeser kesetimbangan ke arah produk. Konversi trigliserida menjadi metil ester atau etil ester melalui proses transesterifikasi dapat mengurangi berat molekul trigliserida hingga sepertiganya dan mengurangi viskositas hingga seperdelapannya, serta sedikit meningkatkan titik nyalanya. Pembuatan biodiesel dari minyak nabati relatif lebih mudah dan cepat (Hambali dkk., 2007). Penggunaan minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel memiliki beberapa kelebihan, diantaranya minyak nabati mudah

diperoleh dari beragam jenis tanaman seperti kelapa sawit, kelapa, jarak pagar, jarak kaliki, kapas, tanaman ketapang, dan kaloka.

H. Minyak Kelapa (*Coconut Oil*)

Kelapa merupakan tanaman yang banyak dimanfaatkan oleh manusia terutama pada daging buah kelapa yang digunakan untuk konsumsi rumah tangga, juga dapat dibuat kopra dan minyak. Kandungan gizi yang terdapat pada buah kelapa perseratus gram antara lain protein 3,3 g; karbohidrat 15,23 g; vitamin C 3,3 mg; dan energi 350 mg. Luas areal tanaman kelapa yang ada di Indonesia pada tahun 2010 sebesar 3.739.350 Ha dengan hasil produksi 3.166.666 ton. Tanaman kelapa banyak ditemukan di daerah tropis. Minyak kelapa merupakan minyak yang diekstrak dari bagian kopra, daging bagian dalam tempurung kelapa yang dikeringkan (Hambali dkk., 2007). Minyak kelapa memiliki potensi yang sangat besar dikembangkan sebagai sumber utama bahan pembuatan biodiesel.

Minyak kelapa merupakan ester dari gliserol dan asam lemak, sehingga dikenal juga sebagai gliserida. Komponen minyak kelapa adalah asam lemak jenuh sekitar 90% dan asam lemak tak jenuh 10%. Asam lemak jenuh didominasi oleh asam laurat yang memiliki rantai karbon 12, termasuk asam lemak rantai menengah dan jumlahnya sekitar 44-52. Karena minyak kelapa didominasi oleh asam laurat yang berantai pendek, maka proses pengubahan minyak kelapa menjadi biodiesel tidak membutuhkan waktu yang lama (Sibuea, 2004). Komposisi asam lemak minyak kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.

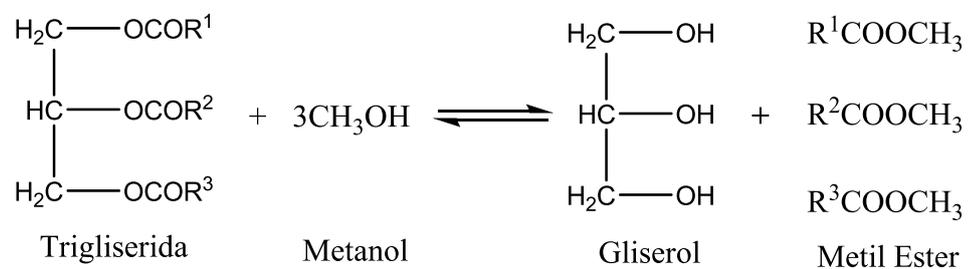
Tabel 2. Komposisi asam lemak minyak kelapa

Asam lemak	Jumlah (%)
Asam kaproat	0,4-0,6
Asam kaprilat	6,9-9,4
Asam kaprat	6,2-7,8
Asam laurat	45,9-50,3
Asam palmitat	7,7-9,7
Asam stearat	2,3-3,2
Asam oleat	5,4-7,4
Asam linoleat	1,3-2,1

(Hambali dkk., 2007).

I. Reaksi Transesterifikasi

Transesterifikasi (alkoholisis) adalah reaksi yang terjadi antara trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek seperti metanol atau etanol menghasilkan metil ester asam lemak (*Fatty Acids Methyl Esters/ FAME*) atau biodiesel dan gliserol sebagai produk samping. Ester yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi ini disebut biodiesel dimana R' adalah gugus alkil dan R1–R3 merupakan gugus asam lemak jenuh dan tak jenuh rantai panjang. Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Reaksi transesterifikasi.

Proses transesterifikasi secara terperinci terbagi atas tiga tahap. Pertama, asam lemak trigliserida terurai menjadi asam lemak digliserida dan asam lemak mono-alkil ester. Lalu asam lemak digliserida terurai kembali menjadi asam lemak monogliserida dan asam lemak mono-alkil ester. Terakhir, asam lemak monogliserida terurai menjadi asam lemak mono-alkil ester dan gliserol. Setiap tahap dalam reaksi tersebut bersifat reversibel, dan asam lemak mono-alkil ester dapat juga disebut dengan biodiesel (Ye *et al.*, 2016).

Terdapat beberapa cara agar kesetimbangan lebih ke arah produk dalam reaksi transesterifikasi, yaitu:

- Menambahkan metanol berlebih ke dalam reaksi;
- Memisahkan gliserol;
- Menurunkan temperatur reaksi.

Proses ini dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain: (1) homogenisasi reaksi, (2) rasio molar, (3) temperatur reaksi, (4) waktu reaksi, (5) tekanan reaksi, (6) jenis katalis (Lam *et al.*, 2010).

J. Karakterisasi Katalis

1. *X-Ray Fluorescence* (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sampel secara kualitatif dan kuantitatif menggunakan metode spektrometri. XRF dapat digunakan untuk

menentukan elemen utama dengan akurasi yang tinggi dan analisis kualitatif terhadap sampel dilakukan tanpa menggunakan standar serta minimalnya preparasi terhadap sampel. Limit deteksi untuk mendeteksi elemen berat sekitar 10-100 ppm, sedangkan untuk elemen yang lebih ringan daripada natrium sangat sulit bahkan tidak mungkin terdeteksi (Bahri, 2015).

Prinsip kerja XRF adalah foton yang memiliki energi tinggi (*X-Rays*) menyebabkan elektron tersebut berpindah ke lapisan kulit luarnya. Pada saat yang bersamaan, kulit dalam terjadi kekosongan elektron dan menyebabkan keadaan yang tidak stabil sehingga elektron dari kulit di atasnya berpindah mengisi kekosongan dengan mengemisikan sinar (*fluorescence*), dengan energi sebesar perbedaan energi dari kedua keadaan dan panjang gelombang yang sesuai dengan karakteristik dari tiap elemen. Intensitas sinar yang diemisikan sebanding dengan konsentrasi dari tiap elemen (Bahri, 2015). Hasil XRF berupa spektrum hubungan antara energi eksitasi dan intensitas sinar-X. Energi eksitasi menunjukkan unsur penyusun sampel dan intensitas menunjukkan nilai kuantitatif dari unsur tersebut. Semakin tinggi intensitasnya, semakin tinggi pula persentase unsur tersebut dalam sampel (Bahri, 2015).

2. *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan suatu metode analisis yang didasarkan pada interaksi antara materi dengan radiasi elektromagnetik

sinar-X yaitu pengukuran radiasi sinar-X yang terdifraksi oleh bidang kristal. Penghamburan sinar-X oleh unit-unit pada kristal akan menghasilkan pola difraksi yang digunakan untuk menentukan susunan partikel pada pola padatan. *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu, XRD juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal (Smallman dan Bishop, 2000). Analisis XRD merupakan metode yang penting untuk karakterisasi zeolit, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Hal ini dikarenakan metode ini memberikan informasi tentang kemurnian ataupun perubahan parameter kisi dari suatu kristal.

Analisis kualitatif dan kuantitatif jenis mineral zeolit menggunakan difraktogram standar dari *International Zeolite Association* (IZA). Setiap senyawa dengan struktur kristal yang sama akan menghasilkan difraktogram yang identik, oleh karena itu pola difraksi dapat digunakan sebagai sidik jari suatu senyawa. Jadi dengan membandingkan difraktogram senyawa hasil sintesis yang tidak diketahui dengan difraktogram standar dalam IZA dapat ditentukan senyawa yang tidak diketahui tersebut (Nelson, 2003). Pada zeolit, intensitas dari puncak pada sudut kecil tergantung pada kandungan air antar kristal, sehingga intensitasnya akan menurun dengan adanya dehidrasi. Zeolit murni dengan derajat kristalinitas tinggi akan menghasilkan puncak sempit yang sangat jelas dengan garis dasar yang rendah dan datar.

3. *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*

Fourier Transform Infra-Red (FTIR) merupakan metode analisis material dengan menggunakan spektroskopi sinar infra merah. Pada umumnya sampel yang dianalisis baik berupa padatan, cairan, atau gas masing-masing mempergunakan sel yang berbeda-beda. Analisis FTIR/IR digunakan untuk menentukan gugus-gugus fungsional yang ada pada suatu senyawa, sehingga dapat digunakan untuk menentukan suatu senyawa yang belum diketahui identitasnya (Stevens, 2011).

Prinsip dasar spektroskopi inframerah yaitu interaksi antara vibrasi atom-atom yang berikatan atau gugus fungsi dalam molekul yaitu dengan mengabsorpsi radiasi gelombang elektromagnetik inframerah. Absorpsi terhadap radiasi inframerah dapat menyebabkan eksitasi energi vibrasi molekul ke tingkat energi vibrasi yang lebih tinggi. FTIR menghasilkan data berupa grafik intensitas dan frekuensi. Intensitas menunjukkan tingkatan jumlah senyawa, sedangkan frekuensi menunjukkan jenis senyawa yang terdapat dalam sebuah sampel yang dianalisis (Alfaruqi, 2008). Analisis FTIR pada zeolit dilakukan dengan cara membandingkan puncak serapan zeolit dengan standar FTIR, dimana hasil dari analisis FTIR digunakan sebagai data pendukung hasil karakterisasi menggunakan XRD. Zeolit secara umum mempunyai daerah serapan inframerah yang khas di sekitar bilangan gelombang $1200-300\text{ cm}^{-1}$ karena pada daerah ini memuat vibrasi fundamental kerangka tetrahedral yang merupakan satuan-satuan pembangun kerangka zeolit (Sriatun, 2004). Terdapat dua jenis

vibrasi pada struktur zeolit yaitu vibrasi internal dan vibrasi eksternal. Vibrasi internal merupakan vibrasi dari tetrahedral $(\text{SiO}_4)^{4-}/(\text{AlO}_4)^{5-}$ yaitu satuan struktur primer dari kerangka zeolit. Vibrasi ini sangat sensitif terhadap komposisi dari kerangka zeolit, sedangkan vibrasi eksternal berhubungan dengan adanya ikatan antar tetrahedral $(\text{SiO}_4)^{4-}/(\text{AlO}_4)^{5-}$ yang sangat dipengaruhi oleh topologi kerangkanya.

Khusus untuk katalis, FTIR digunakan juga untuk identifikasi jenis situs asam yang ada dalam katalis yang telah mengadsorpsi basa adsorbat (Seddigi, 2003). Dari spektra yang dihasilkan dari FTIR, jenis situs asam (Bronsted-Lowry atau Lewis) yang terdapat pada katalis dapat diketahui melalui puncak-puncak serapan yang dihasilkan dari interaksi basa adsorbat dengan situs-situs asam tersebut. Pada penggunaan piridin sebagai basa adsorbat, situs asam Bronsted- Lowry akan ditandai dengan puncak serapan pada bilangan-bilangan gelombang 1485–1500, ~1620, ~1639 cm^{-1} , ~1654 cm^{-1} . Pada situs asam Lewis puncak-puncak muncul akibat terbentuknya ikatan koordinasi antara ikatan C-C dengan kompleks piridin yang ditandai adanya puncak-puncak serapan pada bilangan gelombang ~1400, ~1580, dan 1600–1633 cm^{-1} (Yustira dkk., 2015).

4. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

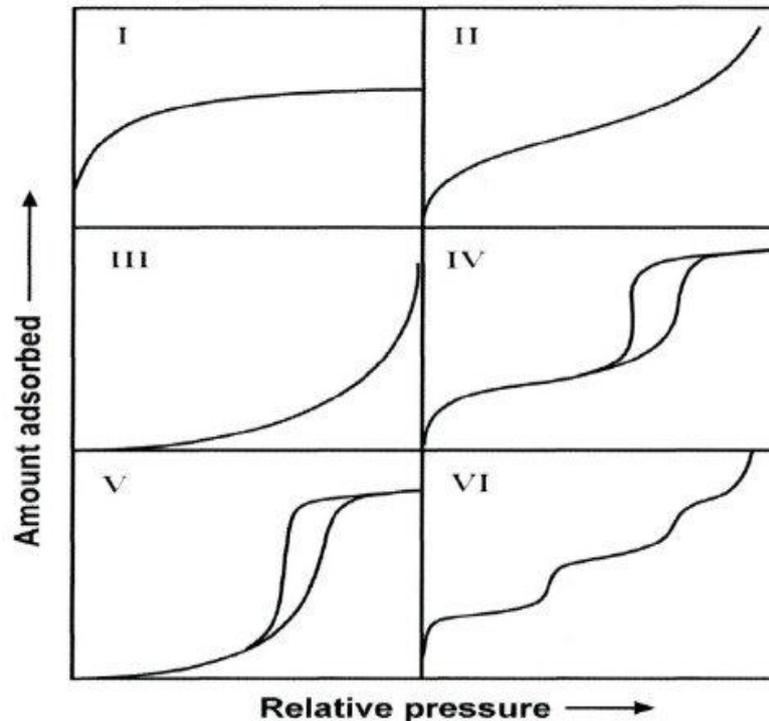
Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan suatu alat karakterisasi yang digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan bahan. Pada SEM dapat diamati karakteristik bentuk, struktur, serta distribusi pori pada

permukaan bahan. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi ini dapat dilihat secara langsung pada hasil SEM berupa bentuk tiga dimensi gambar atau foto (Smallman dan Bishop, 2000). SEM juga dapat digunakan untuk karakterisasi susunan serbuk dan melihat retakan pada permukaan sampel.

Analisis prinsip kerja SEM mirip dengan mikroskop optik, hanya saja berbeda dalam perangkatnya. Pertama berkas elektron disejajarkan dan difokuskan oleh magnet yang didesain khusus berfungsi sebagai lensa. Energi elektron biasanya 100 keV, yang menghasilkan panjang gelombang kira-kira 0,04 nm. Spesimen sasaran sangat tipis agar berkas yang dihantarkan tidak diperlambat atau dihamburkan terlalu banyak, bayangan akhir diproyeksikan ke dalam layar pendar atau film (Tipler, 1991). Kelebihan menggunakan SEM yaitu antara lain material atau sampel dapat dikarakterisasi tanpa persiapan khusus, karena itu sampel yang tebal sekalipun (*bulk*) juga dapat dianalisis.

5. Brunauer-Emmett-Teller (BET)

Unjuk kerja suatu katalis ditentukan beberapa faktor penentu, antara lain luas permukaan, volume total pori, dan rerata jari-jari pori. Penentuan luas permukaan ini dilakukan dengan pendekatan isotherm adsorpsi BET (*Brunauer-Emmett-Teller*). Menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), terdapat enam tipe adsorpsi isothermis pada metode BET bila volume total gas adsorpsi (V_a) diplotkan sebagai fungsi P/P_0 , hasil adsorpsi isothermis tersebut disajikan pada Gambar 5.



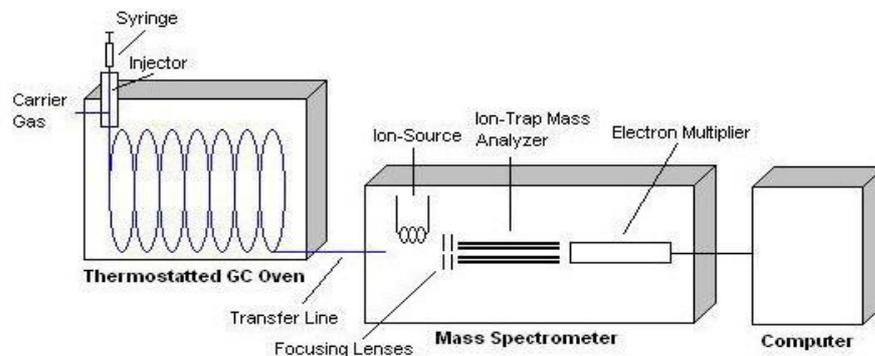
Gambar 5. Enam tipe adsorpsi dan desorpsi isotermis padatan (Affandi *et al.*, 2009).

Tipe I merupakan karakteristik padatan mikropori seperti zeolit, yang menunjukkan kapasitas adsorpsi yang tinggi dan cepat. Tipe II menunjukkan adsorpsi isotermis pada material atau bahan yang tak berpori, sedangkan pada tipe III untuk bahan yang makropori. Ciri utama isotermis pada tipe IV adalah adanya *hysteresis loop* dan kenaikan grafik yang tinggi pada P/P_0 . Isotermis tipe ini umumnya terdapat pada bahan mesopori seperti silika gel. Pada tipe V menunjukkan adsorpsi nitrogen yang rendah pada tekanan relatif rendah, kenyataan ini mengindikasikan interaksi rendah antara adsorben dengan adsorben. Isotermis tipe VI sangat jarang ditemukan, tipe ini dapat dihasilkan pada nitrogen yang diadsorpsi pada karbon (Affandi *et al.*, 2009).

K. Karakterisasi Biodiesel

1. *Gas Chromathography-Mass Spectroscopy (GC-MS)*

Untuk mengetahui komposisi biodiesel perlu dilakukan analisis menggunakan kromatografi gas spektrometri massa (GC-MS), dengan memanfaatkan volatilitas ester yang tinggi sehingga dapat diubah menjadi gas dengan mudah dalam perangkat GC-MS (Syani, 2014). Perangkat GC-MS merupakan gabungan antara perangkat kromatografi gas yang berfungsi untuk memisahkan komponen dalam suatu sampel dan perangkat spektrometri massa yang berfungsi sebagai detektor. Skema kromatografi gas-spektrometri massa sederhana untuk pemisahan sampel ditunjukkan pada Gambar 6.

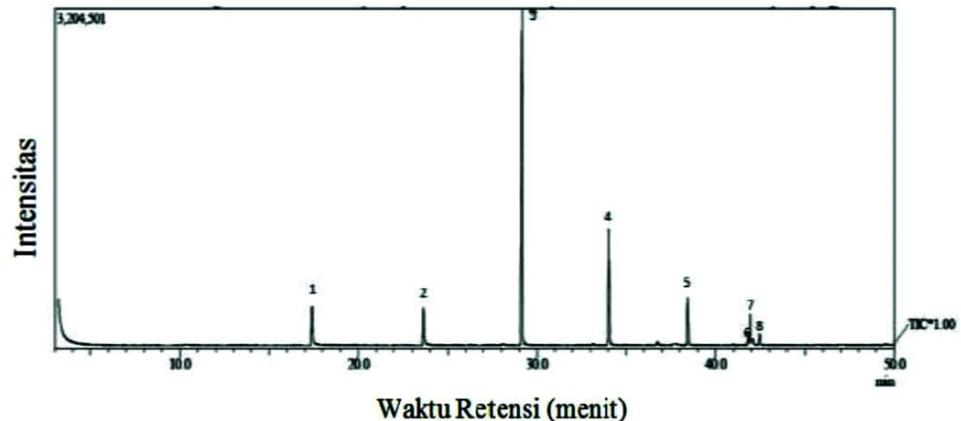


Gambar 6. Skema *Gas Chromathography-Mass Spectroscopy (GC-MS)* (Syani, 2014).

Berdasarkan skema kerja pada Gambar 6, sampel yang berupa cairan akan diinjeksikan ke dalam injektor yang selanjutnya akan diuapkan. Sampel tersebut kemudian akan diangkut oleh gas pembawa untuk masuk ke

dalam kolom. Komponen- komponen dalam sampel selanjutnya akan dipisahkan berdasarkan partisi diantara fase gerak (gas pembawa) dan fase diam (kolom). Hasilnya berupa molekul gas yang kemudian diionisasikan pada spektrometer massa sehingga sampel mengalami fragmentasi yang berupa ion-ion positif. Puncak-puncak kromatogram memberikan informasi jumlah komponen yang ada dalam sampel dan spektra dari spektrometer massa memberikan kunci-kunci penting dalam proses identifikasi (Hendayana, 2006).

Pada penelitian Hartaty (2018) biodiesel yang dihasilkan dari minyak kelapa dengan katalis zeolit alam dikarakterisasi menggunakan GC-MS yang menghasilkan kromatogram seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Kromatogram biodiesel dari minyak kelapa (Hartaty, 2018).

Berdasarkan kromatogram pada Gambar 7, terdapat delapan puncak yang menunjukkan adanya delapan senyawa yang terdapat dalam biodiesel. Komponen yang terdapat pada hasil transesterifikasi (biodiesel) meliputi metil kaprilat, metil kaprat, metil laurat, metil miristat, metil palmitat,

metil linoleat, metil oleat, dan metil stearat, dimana komponen metil laurat yang paling dominan yaitu sebesar sebesar 53,07% (Hartaty, 2018).

2. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah titik temperatur terendah dimana bahan bakar dapat menyala ketika bereaksi dengan udara. Bila nyala terus terjadi secara menerus maka suhu tersebut dinamakan titik bakar (*fire point*). Titik nyala yang terlampaui tinggi dapat menyebabkan keterlambatan penyalaaan sementara apabila titik nyala terlampaui rendah akan menyebabkan timbulnya denotasi yaitu ledakan kecil yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ruang bakar. Hal ini juga dapat meningkatkan resiko bahaya saat penyimpanan. Semakin tinggi titik nyala dari suatu bahan bakar semakin aman penanganan dan penyimpanannya (Widyastuti, 2007).

Menurut Badan Standarisasi Nasional (BSN) sesuai SNI 04-7182-2015, standar titik nyala pada biodiesel minimal 100 °C. Ada tiga macam uji untuk menentukan titik nyala dari suatu bahan bakar, yaitu:

- a. Alat uji cawan terbuka Cleveland (ASTM D 92-90) digunakan untuk menentukan titik nyala dari minyak, kecuali minyak yang memiliki titik nyala cawan terbuka di bawah 79 °C.
- b. Alat uji cawan tertutup Pensky-Martens (ASTM D 92-80) digunakan untuk menentukan titik nyala minyak bakar, pelumas, dan suspensi padatan.

- c. Alat uji cawan tertutup Abel digunakan untuk menentukan titik nyala minyak yang memiliki titik nyala antara -18 sampai 71 °C.

3. Densitas

Densitas adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda pada suhu tertentu. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis lebih tinggi (misalnya besi) akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah (misalnya air). Prinsip dari penentuan densitas biodiesel adalah perbandingan massa contoh tanpa udara pada suhu dan volume tertentu dengan massa jenis air pada suhu dan volume yang sama (Pangesti, 2017).

Menurut Badan Standarisasi Nasional (BSN) sesuai SNI 04-7182-2015 densitas standar untuk biodiesel yakni 850-890 kg/m³ yang diukur pada suhu 40 °C. Pengukuran densitas dapat dilakukan dengan menggunakan piknometer.

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2019 sampai Mei 2019, bertempat di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi katalis menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan di Laboratorium Kimia Instrumen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang, *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Institut Teknologi Surabaya, *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Institut Teknologi Bandung, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung, *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) dilakukan di Laboratorium Kimia Instrumen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang. Karakterisasi biodiesel *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) dilakukan di Universitas Gajah Mada Yogyakarta, analisis densitas dan titik nyala (*flash point*) dilakukan di Laboratorium Instrumentasi SMK-SMTI Bandar Lampung.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah ayakan ukuran 100 mesh, neraca analitik, oven, gelas kimia, gelas ukur, spatula, corong kaca, *hotplate stirrer*, wadah polipropilen, erlenmeyer, corong pisah, *furnace*, batang pengaduk, labu ukur, satu set refluks, labu bundar, cawan penguap, mortar dan alu, batang pengaduk, spatula, termometer, dan pipet tetes.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain zeolit alam yang berasal dari Campang Tiga Lampung Selatan yang dikelola oleh CV. Minatama, garam $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, garam $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, larutan ammonium nitrat (NH_4NO_3) 2 M, larutan garam $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$ dengan konsentrasi 0,5 M, akuades, metanol, minyak kelapa, kertas saring, *oil bath*, dan indikator universal.

C. Prosedur

1. Preparasi Zeolit Alam Lampung

ZAL yang dikelola oleh CV. Minatama yang berasal dari Campang Tiga Lampung Selatan terlebih dahulu dilakukan proses penghalusan dengan cara ditumbuk dan diayak dengan ukuran 100 mesh.

2. Aktivasi Zeolit Alam Lampung

ZAL yang telah dihaluskan dan memiliki ukuran 100 mesh kemudian dilakukan proses aktivasi. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan zat pengotor serta memperbesar pori dari zeolit alam tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan aktivasi ZAL secara fisika. ZAL ditimbang sebanyak 50 g dalam cawan porselen lalu diaktivasi dalam *furnace* pada suhu 800 °C selama 6 jam.

3. Persiapan Katalis

a. Modifikasi Sistem Pori ZAL

ZAL yang telah diaktivasi kemudian diambil sebanyak 6,7 g dan dimasukkan ke dalam 100 mL larutan $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$ dengan konsentrasi 0,5 M. Sampel kemudian dipanaskan dan diaduk pada suhu 100 °C selama 6 jam, lalu padatan disaring dan dinetralkan dengan akuades. Sampel yang sudah dinetralkan kemudian dioven hingga kering, lalu dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 5 jam (Nadiyah, 2018).

b. Pembuatan H-ZAL

ZAL yang telah didealuminasi diambil sebanyak 5 g dan dimasukkan ke dalam 50 mL larutan NH_4NO_3 2 M. Sampel kemudian diaduk dan

dipanaskan pada suhu 80 °C selama 2 hari dengan penggantian larutan setiap 24 jam. Selanjutnya campuran disaring dan dinetralkan dengan akuades. Sampel yang sudah dinetralkan kemudian dikeringkan dengan oven sampai kering lalu sampel dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 6 jam (Nadiyah, 2018).

c. Impregnasi Campuran Logam Ni dan Co

H-ZAL diambil sebanyak 2 g kemudian direndam dalam 20 mL larutan campuran $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ selama 6 jam pada suhu 80 °C, sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Variasi konsentrasi Ni-Co yang digunakan adalah 0; 3; 5; dan 7%. Setelah itu, katalis Ni-Co/ZAL disaring dan dinetralkan dengan akuades lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80 °C selama 12 jam. Selanjutnya, Ni-Co/ZAL dikalsinasi menggunakan *furnace* pada suhu 550 °C selama 6 jam (Estephane *et al.*, 2015).

4. Uji Aktivitas Katalis

Sampel Ni-Co/H-ZAL selanjutnya dilakukan uji aktivitas katalis pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa menjadi biodiesel. Proses transesterifikasi dilakukan dalam labu bundar yang dilengkapi dengan kondenser refluks, indikator suhu, dan penangas air. Pada penelitian ini minyak kelapa, metanol, dan katalis direfluks pada suhu 70 °C selama 3 jam. Selanjutnya, hasil refluks didinginkan dan disaring ke dalam corong pisah untuk

memisahkan dari katalis yang tidak terlarut. Hasil refluks tersebut dibiarkan selama 24 jam agar terjadi pemisahan antara biodiesel dengan minyak yang tersisa. Uji aktivitas katalis Ni-Co/H-ZAL pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa digunakan untuk mempelajari beberapa variabel yaitu pengaruh impregnasi Ni-Co terhadap aktivitas katalitik H-ZAL, perbandingan minyak dengan metanol, dan jumlah katalis.

a. Pengaruh Impregnasi Ni-Co Terhadap Aktivitas Katalitik H-ZAL

Penentuan aktivitas katalitik H-ZAL yang terimpregnasi campuran logam Ni dan Co (Ni-Co/H-ZAL) pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa dilakukan untuk menentukan konsentrasi Ni-Co optimum. Reaksi transesterifikasi dilakukan pada kondisi perbandingan minyak dengan metanol 1:5 dan berat katalis 5% (Hartaty, 2018). Variasi konsentrasi Ni-Co yang digunakan yaitu 0, 3, 5, 7%. Penentuan konsentrasi Ni-Co optimum ditentukan berdasarkan persen konversi terbesar. Katalis terbaik dikarakterisasi menggunakan XRF, XRD, BET, FTIR, dan SEM.

b. Optimasi Perbandingan Minyak : Metanol

Setelah diketahui konsentrasi Ni-Co optimum, selanjutnya dilakukan penentuan aktivitas katalitik pada Ni-Co/H-ZAL dengan variasi perbandingan minyak kelapa dengan metanol. Perbandingan minyak kelapa dengan metanol yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1:5, 1:15, 1:20, dan 1:25 dengan jumlah katalis sebesar 5% dari berat minyak.

Variasi perbandingan minyak : metanol optimum ditentukan dari hasil konversi minyak terbanyak yang selanjutnya digunakan pada penentuan jumlah katalis optimum.

c. Optimasi Jumlah Katalis

Setelah diketahui kondisi optimum dari konsentrasi katalis dan perbandingan minyak kelapa dengan metanol, selanjutnya dilakukan penentuan jumlah katalis optimum. Dalam penelitian ini, variasi jumlah katalis yang digunakan adalah 5, 10, dan 15% dari berat minyak. Katalis yang menghasilkan konversi minyak terbanyak merupakan jumlah katalis optimum. Setelah didapatkan kondisi optimum dari jumlah katalis selanjutnya biodiesel yang dihasilkan dikarakterisasi berupa analisis GC-MS dan uji parameter fisik meliputi densitas dan titik nyala.

5. Karakterisasi Katalis

Katalis H-ZAL yang telah diimpregnasi campuran logam Ni dan Co dikarakterisasi untuk mengetahui karakteristik katalis. Katalis Ni-Co/H-ZAL dikarakterisasi menggunakan BET untuk mengetahui luas permukaan, XRD untuk mengetahui pengaruh impregnasi terhadap struktur kristal dan tingkat kristalinitas katalis, XRF untuk mengidentifikasi unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang terkandung dalam katalis baik secara kualitatif maupun kuantitatif, analisis FTIR untuk mengetahui gugus fungsi senyawa dari katalis, analisis SEM

digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan katalis. Selain itu, karakterisasi fisik pada katalis berupa penentuan jumlah situs asam juga dilakukan. Penentuan keasaman atau jumlah situs asam katalis dilakukan secara gravimetri (ASTM, 2005) melalui keadsorpsi basa piridin.

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 di 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 di tempat terbuka selama 2 jam.
5. Katalis ditimbang untuk mendapatkan berat akhir.

Jumlah situs asam yang terdapat pada katalis ditentukan dengan menggunakan persamaan 3.

$$\text{Keasaman} = \frac{(W_3 - W_2)}{BM(W_2 - W_1)} \times 1000 \text{ mmol/g} \quad (3)$$

Keterangan :

W_1 : berat wadah kosong (g)

W_2 : berat wadah + sampel (g)

W_3 : berat wadah + sampel yang telah mengadsorpsi piridin

BM : bobot molekul piridin

6. Karakterisasi Produk Transesterifikasi

Karakterisasi biodiesel dilakukan menggunakan *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS). Selain itu, biodiesel hasil transesterifikasi dianalisis untuk menentukan beberapa sifat fisik meliputi titik nyala (*flash point*), dan densitas berdasarkan SNI 7182-2015.

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

Produk yang dihasilkan dari kondisi optimum reaksi transesterifikasi minyak kelapa dianalisis dengan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS). Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi komponen dalam produk, dan secara khusus untuk melihat apakah semua trigliserida yang terdapat dalam minyak kelapa mampu diubah menjadi mono ester.

b. Analisis Titik Nyala (*Flash Point*)

Analisis titik nyala dilakukan untuk mengetahui apakah biodiesel yang dihasilkan layak digunakan sebagai bahan bakar atau tidak.

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

1. Sampel dimasukkan ke dalam mangkok uji hingga garis batas pengujian.

2. Suhu sampel dan mangkok uji diatur sekitar 18 °C di bawah kisaran perkiraan suhu *flash point* sampel.
3. Mangkok uji ditutup.
4. Cahaya nyala dihidupkan dan diatur densitasnya (kenaikkan suhu diatur sebesar 5-6 °C/ menit dan sampel diaduk dengan menggunakan alat pengaduk pada kecepatan 90-120 rpm).
5. Pengadukan dihentikan dan gas pembakar ditambahkan dengan mengoperasikan penutup mangkok uji.

c. Analisis Densitas

Langkah-langkah untuk analisis densitas biodiesel adalah sebagai berikut:

1. Piknometer dibersihkan bagian luar dan dalam dengan dicuci menggunakan metanol kemudian dikeringkan di dalam oven.
2. Piknometer kemudian diangkat, dikeringkan, dan ditimbang (berat piknometer kosong).
3. Pada tahap selanjutnya biodiesel dimasukkan ke dalam piknometer yang sebelumnya telah dibersihkan dan dikeringkan hingga meluap dan tidak terbentuk gelembung udara.
4. Bagian luar piknometer dicuci dengan metanol dan piknometer ditimbang (berat sampel diperoleh dengan menghitung selisih berat piknometer berisi sampel dan berat piknometer kosong).

Densitas dihitung dengan rumus:

$$\text{Densitas} = \frac{W_2 - W_1}{\rho_{air}} \quad (4)$$

Keterangan :

W_1 : berat piknometer kosong (g)

W_2 : berat piknometer dan biodisel (g)

ρ_{air} : densitas air (g/mL)

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Impregnasi campuran logam Ni dan Co pada H-ZAL telah berhasil dilakukan dengan konsentrasi optimum 5% berdasarkan hasil karakterisasi XRF.
2. Impregnasi campuran logam Ni dan Co pada H-ZAL tidak menyebabkan perubahan yang signifikan yang menandakan adanya impregnasi Ni-Co tidak merubah struktur zeolit berdasarkan hasil karakterisasi XRD, FTIR, dan SEM.
3. Impregnasi campuran logam Ni dan Co menyebabkan penurunan luas permukaan dan volume total pori pada H-ZAL berdasarkan hasil karakterisasi BET.
4. Pada uji katalitik didapatkan kondisi optimum untuk perbandingan minyak dengan metanol pada reaksi transesterifikasi yaitu 1:20, dengan jumlah katalis sebesar 10% dari berat minyak, dan konsentrasi impregnasi campuran logam Ni dan Co pada H-ZAL sebesar 5% dengan jumlah minyak yang terkonversi sebesar 83%.

5. Hasil analisis biodiesel dengan GCMS menunjukkan bahwa semua asam lemak yang terdapat dalam minyak kelapa belum terkonversi sempurna menjadi metil ester dan hasil karakterisasi fisik biodiesel menunjukkan bahwa produk belum memenuhi persyaratan biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka pada penelitian selanjutnya disarankan agar katalis Ni-Co/H-ZAL dibuat dengan metode impregnasi terpisah agar tidak terjadi kompetisi antara kedua logam, dan untuk reaksi transesterifikasi minyak kelapa menjadi biodiesel disarankan untuk dilakukan optimasi waktu transesterifikasi dengan perbandingan minyak : metanol yang tidak terlalu besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M dan Khairurrijal. 2009. Review: Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*. 2: 1-10.
- Affandi, S., Setyawan, H., Winardi, S., Purwanto., and Balgis, R. 2009. A Facile Method for Production of High Purity Silica Xerogel from Bagasse Ash. *Advanced Powder Technology*. 20: 468-472.
- Alfaruqi, M. H. 2008. Pengaruh Konsentrasi Hidrogen Klorida (HCl) dan Temperature Perlakuan Hidrotermal Terhadap Kristalinitas Material Silika SBA-15. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Jakarta. 23-26 hlm.
- Andarini, Novita. 2011. Studi Aktivitas Katalis Ni(II)/H5NZA dan Co(II)/H5NZA pada Perengkahan Katalitik Metil Ester Jatropha. *Jurnal ILMU DASAR*. 16: 106.
- ASTM D4824-03. 2005. *Test Method for Determination of Catalyst Acidity by Ammonia Chemisorption*. Manual Book of ASTM.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. SNI 7182-2015. *Biodiesel*. Badan Standarisasi Nasional Press. Jakarta. 2-3 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*. Universitas Islam Negeri Malik Ibrahim Maulana Malang. Malang. 22-24 hlm.
- Charlena, H. P dan Rosdiana, T. 2008. Pencirian dan Uji Aktivitas Katalitik Zeolit Alam Teraktivasi. *Jurnal Riset Kimia*. 1: 107–115.
- Dewi, T. K., Mahdi., dan Novriansyah T. 2016. Pengaruh Rasio Reaktan pada Impregnasi dan Suhu Reduksi terhadap Karakter Katalis Kobalt/Zeolit Alam Aktif. *Jurnal Teknik Kimia*. 22: 34–36.
- Dwiyuni, M. 2006. Kajian Sifat Fisika Kimia Ekstraksi Minyak Kelapa Murni (*Virgin Coconut Oil*, VCO) dengan Metode Pembekuan Krim Santan. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 4-7 hlm.

- Eddy, D.R., Novianti, A. R., Janati, D. 2016. Sintesis Silika Metode Sol-gel sebagai Penyangga Fotokatalis TiO₂ terhadap Penurunan Kadar Kromium dan Besi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 17: 82–89.
- Efiyanti, L dan Santi, D. 2016. Pengaruh Katalis NiO dan NiOMoO terhadap Perengkahan Minyak Cangkang Biji Jambu Mete. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 34: 189–197.
- 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: 2693–2700.
- Ertan, A and Akicioglu, O. F. 2005. CO₂ and N₂ Adsorption on the Acid (HCl, HNO₃, H₂SO₄, and H₃PO₄) Treated Zeolites A. *Adsorption*. 11: 151–156.
- Estephane, J., Aouad, S., Hany, S., Elkhoury, B., Gennequin, C., and Zakhem, H. 2015. CO₂ Reforming of Methane Over Ni-Co/ZSM Catalyst, Aging and Carbon Deposition Study. *International Journal of Hydrogen Energy*. 40: 9201–9208.
- Evangelista, J. P. C., Thiago, C., Valter, J. F., and Ana, C. F. 2012. Synthesis of Alumina Impregnated with Potassium Iodide Catalyst for Biodiesel Production from Rice Bran Oil. *Fuel Processing Technology*. 104: 90–95.
- Fukuda, H., Kondo, A., and Noda, H. 2001. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal Bioscience Bioengineering*. 10: 405–416.
- Georgiev, D., Bagdanov, B., Hristov, Y., Markovska, I., and Angelova, K. 2009. Synthesis Zeolite-Structure, Classification, Current Trends in Zeolite Synthesis. *International Science Conference*. Bulgaria. 1: 1–15.
- Gora-Marek, K., Datka, J., Dzwigaj, S., and Che, M. 2006. Influence of V Content on Nature and Strength of acidic Sites in VSiβ-Zeolite Evidenced by IR Spectroscopy. *Journal Physical Chemistry*. 110: 6763-6767.
- Hambali, E., Mujdalifah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W., dan Hendroko, R. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Agromedia Pustaka. Jakarta. 8-13 hlm.
- Hartaty, L. A. 2018. Pemanfaatan Zeolit Alam Lampung sebagai Katalis Asam pada Reaksi Transesterifikasi Biodiesel dari Minyak Kelapa. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. 48-62 hlm.
- Helwani, Z., Othman, M. R., Aziz, N., Kim, J., and Fernando, W. J. N. 2009. Solid Heterogeneous Catalysts for Transesterification of Triglycerides with Methanol: A review. *Applied Catalysis A: General*. 363: 1-10.

- Hendayana, S. 2006. *Kimia Pemisahan Kromatografi dan Elektroforesis Modern*. PT Remaja Rosdakarya. Bandung. 67-71 hlm.
- Kadja, G.T.M., Mukti, R.R., Liu, Z., Rilyanti, M., Ismunandar., Marsih, I. N., Ogura, M., Wakihara, T., and Okubo, T. 2016. Mesoporous-Free Synthesis of Hierarchically Porous ZSM-5 Below 100 °C. *Microporous and Mesoporous Materials*. 226: 344-352.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2015. *Dokumen Rencana Strategis 2015-2019*. Biro Perencanaan dan Kerja Sama. Jakarta.
- Khopkar S. M. 2008. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Universitas Indonesia Press. Jakarta. 91-108 hlm.
- Kusworo D. T., Yusufina., dan Atyaforsa. 2013. Pengaruh Katalis Co dan Fe terhadap Karakteristik Carbon Nanotubes dari Gas Asetilena dengan Menggunakan Proses *Catalytic Chemical Vapour Deposition* (CCVD). *Reaktor*. 14: 234-241.
- Lam, M. K., Lee, K. T., and Mohamed, A. R. 2010. Homogeneous, Heterogeneous, and Enzymatic Catalysis for Transesterification of High Free Fatty Acid Oil (Waste Cooking Oil) to Biodiesel: A Review. *Biotechnology Advances*. 28: 500–518.
- Las, T dan Zamroni, H. 2002. Penggunaan Zeolit Dalam Bidang Industri dan Lingkungan. *Jurnal Zeolit Indonesia*. 1: 27–34.
- Lee, D. W., Park Y. M., and Lee, K.Y. 2009. Heterogeneous Base Catalyst for Transesterification in Biodiesel Synthesis. *Catalysis Surveys from Asia*. 13: 63-77.
- Lestari, D. Y. 2010. *Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara*. Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia. Yogyakarta. 1-6 hlm.
- Lestari, H. D., Subagjo., dan Makertihartha, I. 2006. Sintesis Katalis NiMo untuk Hydrotreating Coker Nafta. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. 5: 365–373.
- Mockovciakova, A., Matik, M., Orolinova, Z., Hudec, P., and Kmecova, E. 2007. Structural Characteristics of Modified Natural Zeolite. *Journal of Porous Materials*. 10: 559–564.
- Nadiyah, Ainun. 2018. Modifikasi Zeolit Alam Lampung sebagai Katalis Asam dalam Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas Menggunakan Reaksi Transesterifikasi. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. 62-69 hlm.

- Nelson, S. A. 2003. *Earth Materials: X-Ray Crystallography*. Tulane University. New Orleans. 1-5 pp.
- Noiroj, K., Intarapong, P., Luengnaruemitchai, A., and Jai-In, S. 2009. A Comparative Study of KOH/Al₂O₃ and KOH/NaY Catalysts for Biodiesel Production Via Transesterification from Palm Oil. *Renewable Energy*. 34: 1145–1150.
- Nurhayati, N. D dan Wigani, A. 2014. *Sintesis Katalis Ni-Cr/Zeolit dengan Metode Impregnasi Terpisah*. Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 4. Surakarta.
- Pangesti, G. G. 2017. Pengolahan Minyak Kelapa Sawit dan Minyak Jarak Pagar Menjadi Biodiesel Menggunakan Zeolit Sintetik Berbasis Silika Sekam Padi sebagai Katalis. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. 52 hlm.
- Rahayu, F. I., Nuryanto, R., dan Suyati, L. 2013. Pengaruh Diameter Kanal Pelet Katalis Zeolit Aktif dan Ni-Zeolit terhadap Pirolisis Limbah Batang Pohon Sagu (*Metroxylon sp.*). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 16: 33–37.
- Rilyanti, M., Mukti R.R., Kadja G.T.M., Ogura, M., Nur H., Ng, E., and Ismunandar. 2016. On the Drastic Reduction of Organic Structure Directing Agent in the Steam-Assisted Crystallization of Zeolite with Hierarchical Porosity. *Microporous and Mesoporous Materials*. 230: 30-31.
- Rini, D. K., 2010. Optimasi Aktivasi Zeolit Alam untuk Dehumidifikasi. *Skripsi*. Universitas Diponegoro. Semarang. 3-10 hlm.
- Sa'adah A. F., Akhmad F., dan Bambang J. 2018. Peramalan Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia dengan Model Sistem Dinamik. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*. 17: 118–123.
- Saiapina, O.Y., Dzyadevych, S.V., Walcarius, A., and Jafrezic-Renault, N. 2012. A Novel Highly Sensitive Zeolite-Based Conductometric Microsensor for Ammonium Determination. *Analytical Letters*. 45: 1467–1484.
- Seddigi, Z. S. 2003. Acidic Properties of HZSM-5 Using Acetylacetone, TPD Ammonia, and FTIR of Adsorbed Pyridine. *The Arabian Journal for Science and Engineering*. 27: 149–156.
- Setyawan, D. 2002. Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal, dan Impregnasi Logam Kromium pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis. *Jurnal Ilmu Dasar*. 3: 103–109.
- Sherrington, D. C and Kybett, A. P. 2001. *Supported Catalysts and Their Application*. Royal Society of Chemistry. London. 61-65 pp.

- Shu, Q. 2010. Synthesis of Biodiesel from Waste Vegetable Oil of Sunflower Oil Methanolysis Catalyzed by Calcium Oxide. *Fuel*. 88: 554–562.
- Sibarani, K. L. 2012. Preparasi, Karakterisasi dan Uji Aktifitas Katalis Ni-Cr/Zeolit Alam pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok. 12-13 hlm.
- Sibuea, P. 2004. *Virgin Coconut Oil*. Kompas, 22 Desember 2004. 32 kolom 1–5.
- Sihombing, L. S., Pulungan, A. N., Sari, D. P., Zubir, M., dan Selly R. 2017. Konversi Minyak Biji Alpukat Menjadi Fraksi Bahan Bakar Cair Melalui Proses Catalytic Cracking menggunakan Katalis CuO/ZAA. *Jurnal Pendidikan Kimia*. 7: 306-308.
- Smallman, R. E dan Bishop, R. J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta. 23-30 hlm.
- Sriatun. 2004. Sintesis Zeolit A dan Kemungkinan Penggunaannya sebagai Penukar Kation. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 7: 3.
- Stevens, M. P. 2011. *Kimia Polimer Edisi Dua*. Pradnya Paramita. Jakarta. 613 hlm.
- Sukardjo. 2002. *Kimia Fisika*. Bineka Cipta. Jakarta. 190 hlm.
- Sugianto, D. J., Wijaya, K., dan Tahir, I. 2014. Karakterisasi dan Aplikasi Katalis Nikel-Molibdenum Teremban pada Zeolit Alam Aktif untuk Hidrorengkahan Tir Batubara. *Jurnal Natur Indonesia*. 16: 10-22.
- Susanti, D. P dan Panjaitan, S. 2010. *Manfaat Zeolit dan Rock Phosphat dalam Pengomposan Limbah Pasar*. Prosiding PPI Standarisasi. Banjarmasin.
- Syani, F. 2014. Sintesis Zeolit Berbasis Silika Sekam Padi dengan Metode Elektrokimia sebagai Katalis Transesterifikasi Minyak Kelapa. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. 41-42 hlm.
- Tadeus, A., Silalahi., Endah, S., dan Aladin S. 2013. Karakterisasi Katalis Zeolit-Ni Regenerasi dan Tanpa Regenerasi dalam Reaksi Perengkahan Katalitik. *Reaktor*. 14: 234–241.
- Thamzil, L. 2005. *Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif*. P2PLR BATAN. Banten. 2 hlm.
- Tipler, P., 1991. *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Erlangga. Jakarta. 43-50 hlm.

- Trisunaryanti, W., Triyono., dan Taufiyanti, F. 2002. Deaktivasi dan Regenerasi Katalis Cr/Zeolit Alam Aktif untuk Proses Konversi Metil Isobutil Keton. *Jurnal Gama Sains*. 4: 142–146.
- Trisunaryanti, W., Triyono., Denty F. A. 2003. Pembuatan Katalis Ni-Mo/Mordenit dengan variasi Rasio Mo-Ni dan Karakterisasinya untuk Konversi Asam Steatat. *Indonesian Journal of Chemistry*. 2: 80-90.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., dan Sudiono, S. 2005. Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi katalis Ni-Pd/Zeolit Alam. *Jurnal Teknologi Industri*. 5: 52-53.
- Tsitsishivili and Andronikashvili. 1992. *Natural Zeolites*. Ellis Horwood Limited. England. 192 pp.
- Udyani, K dan Yustia, W. 2014. *Aktivasi Zeolit Alam untuk Peningkatan Kemampuan sebagai Adsorben pada Pemurnian Biodiesel*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan II. Surabaya.
- Wibowo, J. 2012. Peningkatan Kinerja Zeolit Klinoptilolit Aktif untuk Menghilangkan Merkuri dalam Hidrokarbon Cair dengan Penambahan Tin(II) Klorida. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok. 38-45 hlm.
- Widyastuti, L. 2007. Reaksi Metanolisis Minyak Biji Jarak Pagar Menjadi Metil Ester sebagai Bahan Bakar Pengganti Minyak Diesel dengan Menggunakan Katalis KOH. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang. Semarang. 9 hlm.
- 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.
- 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 Heterogeneous Catalyst. *Fuel*. 180: 574–579.
- Yusnani, A. 2008. Rasio Optimum Konsentrasi Prekursor pada Sintesis Katalis Ni-Mo/Zeolit Y. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta. 18-20 hlm.
- Yustira, Y., Usman, T., Wahyuni, N. 2015. Sintesis Katalis Sn/Zeolit dan Uji Aktivitas Pada Reaksi Esterifikasi Limbah Minyak Kelapa Sawit (*Palm Sludge Oil*). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. 4: 58–66.