PENGARUH VARIABEL KINETIS TERHADAP EFEKTIVITAS REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK BIJI KARET MENGGUNAKAN KATALIS NiO/ZEOLIT-Y

(Skripsi)

Oleh

ROSALINDA YULIANI

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022

ABSTRAK

PENGARUH VARIABEL KINETIS TERHADAP EFEKTIVITAS REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK BIJI KARET MENGGUNAKAN KATALIS NiO/ZEOLIT-Y

Oleh

Rosalinda Yuliani

Pada penelitian ini, komposit NiO/zeolit-Y disintesis menggunakan metode impregnasi dengan memvariasikan komposisi logam NiO terhadap zeolit-Y yakni 0, 5, 10, 15 dan 20%. Komposit NiO/zeolit-Y selanjutnya digunakan sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi minyak biji karet dengan metanol. Penelitian diawali dengan mensintesis zeolit-Y menggunakan metode hidrotermal dengan memanfaatkan silika sekam padi dan alumunium foil *food grade*sebagai bahan baku. Metode hidrotermal dilakukan pada suhu kristalisasi 100ºC selama 48 jam kemudian diikuti dengan proseskalsinasi pada suhu 550ºC selama 6 jam. Komposit NiO/zeolit-Y dan zeolit-Y dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM dan FTIR. Hasil karakterisasi XRD zeolit-Y menunjukkan adanya kemiripan dengandatabase standar IZA. Morfologi permukaan zeolit-Y berbentuk bulat dengan karakteristik bentuk lingkaran yang tersusun dari kumpulan balok-balok kristal yang tumbuh mencuat dari pusat lingkaran. Impregnasi oksida NiO pada zeoit-Y tidak merubah dan merusak struktur pada zeolit-Y dibuktikan dengan dipertahankannya karakteristik bentuk bulat pada kristal. Penggunaan komposit NiO/zeolit-Y sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi menunjukkan aktivitas katalitik yang baik. Komposit NiO/zeolit-Y dengan kandungan logam 20% memiliki aktivitas katalitik terbaik, dengan tingkat konversi minyak biji karet menjadi biodiesel yang tercapai sebesar 89%. Karakterisasi GC-MS menunjukkan bahwa produk transesterifikasi terdiri dari campuran metil ester yang sesuai dengan kandungan asam lemak dalam minyak biji karet dengan komposisi utamanya adalah metil linoleat sebesar 39,59%.

Kata Kunci: zeolit-Y, komposit NiO/zeolit-Y, katalis, transesterifikasi, minyak biji karet.

ABSTRACT

EFFECT OF KINETIC VARIABLE ON THE EFFETIVENESS OF THE RUBBER SEED OIL TRANSESTERIFICATION REACTION USING A CATALYST OF NiO/ZEOLITE-Y

By

Rosalinda Yuliani

In this study, NiO/zeolite-Y composites were synthesized using the impregnation method by varying the metal composition of NiO to zeolite-Y, namely 0, 5, 10, 15, and 20%. The NiO/zeolite-Y composites were used as a catalyst in the transesterification reaction of rubber seed oil with methanol. The research was initiated by synthesizing zeolite-Y using the hydrothermal method by utilizing rice husk silica and food-grade aluminum foil as raw materials. The hydrothermal method was conducted at a crystallization temperature of 100ºC for 48 hours and then calcined at 550ºC for 6 hours. NiO/zeolite-Y composite and zeolite-Y were characterized using XRD, SEM, and FTIR. The results of the XRD zeolite-Y characterization showed similarities with the IZA standard database. The surface morphology of the zeolite-Y is round with a characteristic circular shape composed of collection of crystal blocks that grow sticking out from the center of the circle. NiO oxide impregnation in zeolite-Y did not change and damage the structure of zeolite-Y as evidenced by the preservation of the characteristic round shape of the crystal. Using NiO/zeolite-Y composite as a catalyst in the transesterification reaction showed good catalytic activity. NiO/zeolite-Y composite with 20% nickel content had the best catalytic activity, with the conversion rate of rubber seed oil into biodiesel achieved at 89%. GC-MS characterization showed that the transesterification product consisted of a mixture of methyl esters which matched the fatty acid content in rubber seed oil with 39,59% methyl linoleate as the main composition.

Keyword: zeolite-Y, NiO/zeolite-Y composite, catalyst, transesterification, rubber seed oil

PENGARUH VARIABEL KINETIS TERHADAP EFEKTIVITAS REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK BIJI KARET MENGGUNAKAN KATALIS NiO/ZEOLIT-Y

Oleh

ROSALINDA YULIANI

(Skripsi)

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANASAINS

PADA

JurusanKimia
FakultasMatematika dan IlmuPengetahuanAlam
UniversitasLampung

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIABEL KINETIS TERHADAP EFEKTIVITAS REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK BIJI KARET MENGGUNAKAN KATALIS NiO/ZEOLIT-Y**

Nama : **Rosalinda Yuliani**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1717011061

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

Komisi Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Kamisah D. Pandiangan, M. Si	**Dr. Ilim, M.S.**
NIP. 197212051997032001	NIP. 196505251990032002

Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila

Dr. Mulyono, M.Si

NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.** .....

Seketaris : **Dr. Ilim, M.S.** .....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.** .....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **4 Meret 2022**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: Rosalinda Yuliani
Nomor Pokok Mahasiswa	: 1717011061
Jurusan	: Kimia
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi	: Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang berjudul "Pengaruh Variabel Kinetis Terhadap Efektivitas Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Karet Menggunakan Katalis NiO/zeolit-Y" adalah benar karya saya sendiri baik gagasan, hasil dan analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenarnya untuk digunakan sabagaimana mestinya. Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 11 April 2022
Yang Menyatakan

METERAI TEMPEL
460AJX786267043

Rosalinda Yuliani
NPM. 1717011061

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Rosalinda Yuliani, lahir di Bandar Lampung pada tanggal 21 Juli 1999. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara, yang lahir dari pasangan suami istri bernama Bapak Wandi Andrian dan Ibu Novi Hariani. Penulis sekarang bertempat tinggal di Jalan Imam Bonjol Gg. Lakasana No. 17, Kelurahan Sukajawa, Kabupaten Tanjung Karang Barat, Kota Bandar Lampung, Lampung. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 44 Prabumulih pada tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 13 Bandar Lampung pada tahun 2014 dan Sekolah Menengah Akhir di SMA Negeri 3 Bandar Lampung pada tahun 2017. Kemudian pada tahun 2017 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan S1 Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN)

Selama menjadi mahasiswa, penulis merupakan mahasiswa penerima beasiswa Bidikmisi selama 4 tahun yaitu dari tahun 2017 hingga tahun 2021. Selain belajar di bangku kuliah penulis juga aktif berorganisasi baik tingkat jurusan, fakultas dan juga universitas. Organisasi yang pernah diikuti adalah; Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) sebagai Kader Muda Himaki (Kami) tahun 2017 dan anggota Bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi (KPO) tahun 2018-2019, Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) sebagai staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Manusia (PSDM) tahun 2018 dan bendahara Dinas Hubungan Diplomasi dan Eksternal (HDE) tahun 2020, dan MPM/DPM U KBM Unila sebagai staff Komisi III (Administrasi dan Keuangan) tahun 2019. Selain mengikuti organisasi, penulis juga pernah menjadi asisten Praktikum Kimia Fisik pada semester Genap untuk mahasiswa kimia angkatan 2018 pada tahun 2020/2021.

MOTTO

"Sungguh,usahamu memang berbeda-beda"
(Q.S. Al-Lail : 92/ayat 4)

"dan bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya, dan sesungguhnya usahanya itu kelak akan diperlihatkan (kepadanya), kemudian akan diberi balasan kepadanya dengan balasan yang paling sempurna
(Q.S. An-Najm : 53/ayat 39-41)

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya"
(Q.S. Al-Baqara : 2/ayat 286)

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain), dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap."
(Q.S. Ash-Sharh : 94/ayat 5-8

"Dialah yang menjadikan bumi untuk kamu yang mudah dijelajahi, maka jelajahi lah di segala penjurunya"
(Q.S. Al-Mulk : 67/ayat 15)

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim
Dengan mengucap alhamdulillahi rabbil ‘alamin

Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawabku kepada :

Rosalinda Yuliani,
Diriku sendiri

Bapak Wandi Andiran dan Ibu Novi Hariani,
Kedua orang tuaku
Atas segala do’a, cinta dan kasih sayang, semangat, motivasi, dukungan dan kesabaran yang telah diberikan kepadaku hingga saat ini

Abang Rizky Syawal, M. Alif Algani, dan Annisa Rahmadani
Kakak dan adik-adikku

Rasa hormat saya kepada:

Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.
Ibu Dr. Ilim, M.S.
Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.
Atas ilmu yang telah diberikan kepada saya selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung

Sahabat, dan Teman

Serta

Almamater Tercinta
Universitas Lampung

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahi rabbil 'alamin, segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW semoga kita termasuk umatnya yang mendapatkan syafaatnya di yaumil akhir nanti, *aamiin yaa rabbal 'alamin*.

Skripsi ini berjudul **"Pengaruh Variabel Kinetis Terhadap Efektivitas Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Karet Menggunakan Katalis NiO/zeolit-Y"**disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.Oleh sebab itu, pada kesempatan ini sebagai wujud rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Diriku sendiri, Rosalinda Yuliani yang sudah berjuang dan bertahan serta tidak menyerah untuk menyelesaikan pendidikan di Universitas Lampung.
2. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa, cinta dan kasih sayang, motivasi, semangat, kesabaran dan dukungan untuk penulis.
3. Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si. selaku pembimbing utama atas segala bimbingan, motivasi, bantuan, nasehat dan saran serta kebaikannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Ilim, M.S. selaku pembimbing kedua atas segala bimbingan, motivasi, bantuan, nasehat dan saran serta kebaikannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

5. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku penguji atas segala bimbingan, motivasi, bantuan, nasehat dan saran serta kebaikannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
6. Ibu Dra. Aspita Laila, M.S. selaku pembimbing akademik atas segala saran, kesempatan berdiskusi, motivasinya kepada penulis selama menjalani masa-masa perkuliahan hingga selesai.
7. Bapak Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
8. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
9. Segenap staf dosen pengajar dan karyawan khususnya Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
10. Rekan penelitian, khususnya Davincent Andreas Lihardo Sinaga dan Charlita Ramadia yang telah membantu penulis dari awal penelitian hingga akhir.
11. Rekan-rekan Laboratorium Polimer; Andre, Erma, Eva, Syayyidati, Bang Jeremia, Kadek, Kak Ruli, Kak Yosefin, Mba Tika, Chori, Noni, Randi, Anggun dan Aryani yang telah membantu dan mendukung penulis selama penelitian.
12. Merriezka Ismaini, Andira Rahma, Nia Kurniasih, Azizah Malik, Agustina Ayu P, Rana Rinjani, dan Ramy Zahraatas segala kebersamaan, waktu yang telah dilalui, semangat,dukungan dan doa yang telah diberikan kepada penulis.
13. Teman-teman Jurusan Kimia FMIPA Unila angkatan 2017.
14. Rekan-rekan Himaki FMIPA Unila periode kepengurusan 2018 dan 2019.
15. Rekan-rekan MPM/DPM U KBM Unila periode kepengurusan 2019 Keluarga Cita Rasa Bersama.
16. Keluarga besar Jurusan Kimia FMIPA Unila angkatan 2015-2020
17. Semua pihak yang telah membantu penulis selama masa-masa perkuliahan, dan penelitian yang tidak dapat disebutkan dan dituliskan namanya satu persatu.

Semoga Allah SWT membalasmu dengan kebaikan atas segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis, *aamiin yaa rabbal 'alamin*. Penulis menyadari bahwa pada skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan khususnya bagi mahasiswa Jurusan Kimia.

Bandar Lampung, 11 April 2022
Penulis,

Rosalinda Yuliani

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI i
DAFTAR TABEL iii
DAFTAR GAMBAR iv
I. PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Tujuan Penelitian 3
1.3 Manfaat Penelitian 4
II. TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Biodiesel 5
2.1.1 Reaksi Transesterifikasi 6
2.1.2 Karakterisasi Biodiesel 9
2.2 Katalis 11
2.3 Biji Karet 12
2.4 Zeolit 14
2.4.1 Zeolit Sintesis 16
2.4.2 Zeolit-Y 17
2.4.3 Proses Hidrotermal 19
2.5 Logam Nikel 20
2.6 Impregnasi 20
2.7 Silika Sekam Padi 21
2.8 *X-Ray Diffraction* (XRD) 22
2.9 *Scanning Electron Microscopy* (SEM) 24
2.10 *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) 26
III. METODE PENELITIAN 29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 29
3.2 Alat dan Bahan 29

3.2.1 Alat yang digunakan 29
3.2.2 Bahan yang digunakan 29
3.3 Prosedur Kerja 30
3.3.1 Pembuatan larutan 30
3.3.2 Ekstraksi Silika Sekam Padi 31
3.3.3 Sintesis Zeolit-Y 31
3.3.4 Pembentukan Komposit NiO/Zeolit-Y 32
3.3.5 Karakterisasi Zeolit-Y dan Komposit NiO/zeolit-Y 32
3.3.6 Preparasi Minyak Biji Karet 33
3.3.7 Uji Aktivitas Komposit NiO/Zeolit-Y Sebagai Katalis Transesterifikasi 33
3.3.8 Uji Kualitas Biodiesel 34
3.3.9 Karakterisasi Biodiesel 35

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 36
4.1 Pengantar 36
4.2 Ekstraksi Silika Sekam Padi 36
4.3 Sintesis Zeolit-Y 37
4.4 Karakterisasi Zeolit-Y 38
4.4.1 *X-Ray Diffraction* (XRD) 38
4.4.2 *Scanning Electron Microscopy* (SEM) 40
4.5 Pembentukan Komposit NiO/zeolit-Y 41
4.6 Karakterisasi Komposit NiO/zeolit-Y 42
4.6.1 *X-Ray Diffraction* (XRD) 42
4.6.2 *Scanning Electron Microscopy* (SEM) 43
4.6.3 *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) 44
4.7 Preparasi Minyak Biji Karet 46
4.8 Uji Aktivitas Komposit NiO/zeolit-Y Sebagai Katalis Transesterifikasi 47
4.8.1 Pengaruh Impregnasi NiO Terhadap Konversi Minyak 48
4.8.2 Pengaruh Nisbah Minyak : Metanol 49
4.9 Uji Kualitas Biodiesel 50
4.10 Karakterisasi Biodiesel 50

V. SIMPULAN DAN SARAN 53
5.1 Simpulan 53
5.2 Saran 53

DAFTAR PUSTAKA 55
LAMPIRAN 59

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

Tabel 1. Sifat fisik dan kimia biodiesel (Demirbas, 2009) 6

Tabel 2. Komposisi asam lemak dalam biji karet (Setyawardhani dkk., 2010) 13

Tabel 3. Karakteristik minyak biji karet 14

Tabel 4. Rumus oksida beberapa jenis zeolit sintesis (Bogdanov *et al*., 2009) 16

Tabel 5. Hasil pembandingan XRD zeolit-Y 40

Tabel 6. Data keasaman katalis 44

Tabel 7. Interpretasi gugus fungsi pada katalis 45

Tabel 8. Data hasil uji densitas 50

Tabel 9. Komponen hasil transesterifikasi minyak biji karet pada kondisi optimum 51

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

Gambar 1. Skema instrumen GC-MS 9

Gambar 2. Kromatogram GC dari *Ricinius communis* produk transesterifikasi minyak..... 10

Gambar 3. Struktur umum kerangka zeolit 14

Gambar 4. Struktur zeolit-Y dengan pembukaan cincin-12..... 17

Gambar 5. UPP; (a) Model kerangka, (b) Model ruang, (c) Model bola tongkat, (d) Model bola 18

Gambar 6. UPS zeolit (a) *single* 4-ring, (b) *single* 6-ring, (c) *single* 8-ring, (d) *double* 4-ring, (e) *double* -6ring, (f) *double* 8-ring, (g) *complex* 5-1, (h) *complex* 4-4-1, dan (i) *complex* 4-1..... 18

Gambar 7. Diagram sinar-X 22

Gambar 8. Skema alat difraksi sinar-X (Abdullah dan Khairurrijal, 2009)..... 23

Gambar 9. Difraktogram XRD zeolit-Y dengan waktu kristalisasi selama 48 jam 24

Gambar 10. Skema kerja alat SEM (Goldstein, 1981)..... 25

Gambar 11. Mikrograf SEM zeolit-Y dengan waktu kristalisasi 48 jam..... 26

Gambar 12. Spektrum FTIR sampel zeolit-A dikalsinasi pada suhu 600ºC 27

Gambar 13. Proses ekstraksi silika sekam padi (a) Sekam padi yang sudah bersih (b) Proses ekstraksi (c) Sol gel silika (d) Gel silika yang sudah bersih dan putih (e) Silika bersih (f) Serbuk silika 37

Gambar 14. Proses sintesis zeolit-Y (a) Campuran larutan natrium silikat dan alumunium foil food grade (b) Campuran larutan natrium silikat dan alumunium foil food grade di dalam autoklaf (c) Zeolit-Y 38

Gambar 15. Hasil difraktogram zeolit-Y 39

Gambar 16. Hasil mikrograf zeolit-Y (a) perbesaran 10.000x dan (b) perbesaran 15.000x..... 40

Gambar 17. Hasil pembentukan komposit NiO/zeolit-Y (a) Komposit NiO 5%/zeolit-Y (b) Komposit NiO 10%/zeolit-Y (c) Komposit NiO 15%/zeolit-Y (d) Komposit NiO 20%/zeolit-Y..... 41

Gambar 18. Hasil difraktogram NiO/zeolit-Y..... 42

Gambar 19. Hasil mikrograf (a) Zeolit-Y perbesaran 15.000x (b) NiO 20%/zeolit-Y perbesaran 15.000x (c) NiO 20%/zeolit-Y perbesaran 30.000x..... 43

Gambar 20. Spektrum analisis FTIR zeolit-Y dan komposit NiO/zeolit-Y..... 45

Gambar 21. Hasil minyak biji karet..... 46

Gambar 22. Produk hasil transesterifikasi 47

Gambar 23. Grafik hasil konversi minyak biji karet berdasarkan pengaruh impregnasi NiO pada zeolit-Y..... 48

Gambar 24. Grafik hasil konversi minyak biji karet berdasarkan pengaruh nisbah minyak:metanol..... 49

Gambar 25. Kromatogram hasil tansesterfikasi minyak biji karet pada kondisi optimum 51

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan terhadap minyak bumi/minyak fosil sebagai bahan baku danbahan bakar dari waktu ke waktu terus mengalami krisis dunia, disebabkan konsumsi bahan bakar dan produksi dari minyak mentah meningkat sejalan juga dengan pembangunan yang terjadi. Keterbatasan bahan bakar fosil sebagai salah satu sumber energi yang tidak dapat diperbarui menjadi wacana untuk mengembangkan sumber alternatif dari bahan baku lain yang jumlahnya masih melimpah seperti biodiesel, bioalkohol, biomassa, biogas dan bahan bakar sintesis. Diantara jenis bahan-bahan tersebut, biodiesel merupakan bahan bakar yang dapat digunakan secara langsung di mesin diesel, sedangkan yang lainnya membutuhkan beberapa modifikasi sebelum digunakan sebagai pengganti bahan bakar konvensional (Morshed*et al*., 2011).

Biodiesel merupakan bahan bakar cair yang terdiri dari asam lemak alkil ester yang berasal dari minyak nabati atau lemak hewani melalui reaksi transesterifikasi. Prosesreaksi transesterifikasi secara umum merupakan reaksi bolak-balik dan memiliki tiga tahap reaksi yaitu pertama trigliserida direaksikan dengan alkohol menghasilkan digliserida dan ester; kedua digliserida direaksikan dengan alkohol menghasilkan monogliserida dan ester; dan terakhir monogliserida direaksikan dengan alkohol menghasilkan gliserol dan ester(Pena *et al*., 2009).

Secara umum ada empat jenis bahan baku utama yang tersedia untuk produksi biodiesel sepertiminyak nabati, lemak hewani, alga danbahan berkualitas rendah lainnya seperti limbah minyak goreng, lemak dan stok sabun. Salah satu penghasil minyak nabati yang banyak ditemukan pada negara tropis seperti Indonesia adalah karet. Pohon karet (*Hevea brasiliensis*) termasuk dalam keluarga *euphorbiaceae*.

Kandungan minyak biji karet berkisar antara 40-50% sehingga minyak biji karet berpotensi digunakan sebagai bahan baku biodiesel (Ahmad*et al*., 2014).

Dalam proses pembuatan biodiesel, minyak nabati direaksikan dengan alkohol rantai pendek melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa. Katalis basa hanya bekerja dengan baik pada bahan baku minyak dengan kadar asam lemak bebas rendah yaitu < 0,5% dan dalam kondisi bebas dari air. Namun minyak nabati dengan kandungan asam lemak bebas yang tinggi, penggunaan katalis basa dapat menyebabkan reaksi samping penyabunan yang pada akhirnya dapat menurunkan perolehan produk biodiesel.Katalis asam dapat digunakan sebagai alternatif dalam pembuatan biodiesel dari bahan baku minyak dengan kandungan asam lemak bebas yang tinggi. Sebagai alternatif dalam pembuatan biodiesel dari bahan baku minyak dengan kandungan asam lemak bebas yang tinggi dapat menggunakan katalis asam.Katalis asam yang digunakan dapat berupa katalis asam homogen maupun katalis asam heterogen. Katalis asam homogen lebih jarang digunakan karena reaksi dengan katalis ini berjalan lambat, memerlukan temperatur yang tinggi dan bersifat korosif. Katalis asam heterogen dapat dijadikan solusi dalam pembuatan biodiesel karena bersifat lebih tidak korosif, tidak membutuhkan proses pemisahan yang mahal, dandapat mengurangi dampak pencemaran lingkungan (Lotero *et al*., 2005).

Katalis biasanya terbentuk dari beberapa komponen yaitu; situs aktif katalis, promotor dan penyangga sehingga perpaduan beberapa komponen tersebut akan menambah sifat katalis menjadi lebih baik. Situs aktif adalah bermacam logam transisi yang memiliki orbital *d* kosong atau elektron tunggal yang akan disumbangkan pada molekul reaktan sehingga terbentuk ikatan baru dengan kekuatan ikatan tertentu. Sedangkan penyangga adalah zat padat yang berpori dimana situs aktif ditempatkan. Salah satu penyangga katalis yang telah banyak digunakan dalam beragam 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 merupakan kristal alumina silika tetrahidrat berpori

yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga dimana di dalamnya terisi oleh ion-ion logamsehingga luas permukaan dan keasaman dapat mudah dimodifikasi. Logam nikel dipilih karena memiliki orbital d yang kosong sehingga dapat berikatan dengan hidrogen dan memutus ikatan rangkap (dibuat sejelas-jelasnya) Salah satu logam transisi (Efiyanti dan Santi, 2016). Adanya logam prekursor seperti nikel di dalam zeolit mampu meningkatkan situs aktif zeolit untuk digunakan sebagai katalis sehingga akan mempercepat tercapainya konversi reaktan menjadi produk yang diinginkan (Rahayu dkk., 2013).

Pada penelitian ini dilakukan preparasi komposit NiO/zeolit-Y dengan cara mengimpregnasikan logam nikel ke permukaan zeolit-Y. Zeolit-Y disintesis dari aluminium hidroksida sebagai sumber Al dan silika yang diekstraksi dari sekam padi sebagai sumber silika. Selanjutnya karakterisasi komposit NiO/zeolit-Y meliputi X-*Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Uji aktivitas katalitik NiO/zeolit-Y dilakukan pada reaksi transesterifikasi pada minyak biji karet dengan metanol menjadi biodiesel.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mensintesis zeolit-Y dari silika sekam padi dan alumunium foil menggunakan metode hidrotermal.
2. Mensintesis komposit NiO/zeolit-Y menggunakan metode impregnasi dengan memvariasikan jumlah konsentrasi NiO terhadap berat zeolit-Y.
3. Mengkarakterisasi komposit NiO/zeolit-Y menggunakan analisis XRD, SEM, dan FTIR.
4. Menguji aktivitas katalitik komposit NiO/zeolit-Y pada reaksi transesterifikasi minyak biji karet dengan metanol menjadi biodiesel yang terfokus pada pengaruh nisbah minyak metanol.
5. Mengkarakterisasi produk biodiesel terfokus pada densitas, dan analisis komposisi senyawa menggunakan GC-MS. Mengkarakterisasi produk

biodisel meliputi analisis komposisi senyawa menggunakan GC-MSdan karakterisasi fisik biodiesel seperti densitas.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memanfaatkan sekam padi sebagai sumber silika untuk pembuatan zeolit-Y.
2. Memberikan informasi tentang pembuatan komposit NiO/zeolit-Y.
3. Meningkatkan nilai tambah biji karet sebagai sumber minyak dalam pembuatan biodiesel.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel

Biodiesel adalah jenis bahan bakar yang terdiri dari alkil ester asam lemak dan disintesis melalui reaksi transesterifikasi antara trigliserida (minyak nabati atau lemak hewani) dengan alkohol.Biodiesel berpotensi kuat sebagai alternatif pengganti diesel fosil dimana bahan bakunya dapat diperoleh dari tanaman industriyang memiliki manfaatseperti; biodegradabilitas, pembaharuan, toksisitas lingkungan yang lebih rendah, kandungan sulfur lebih rendah, pelumasan yang lebih baik, angka setana dan titik nyala tinggi. Biodiesel memiliki titik nyala 423 K yang tidak mudah terbakar dan bahan bakar non-eksplosif sehingga penanganan, penyimpanan, dan pengangkutan biodiesel menjadi relatif mudah dan aman. Selain itu, produksi biodiesel juga dapat memberikan peluang untuk meningkatkan pasar domestik minyak di negara berkembang, meningkatkan pendapatan dan industri pertanian (Avhad and Marchetti, 2015).

Pada penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa biodiesel menghasilkan gas yang sedikit berbahayaseperti; emisi CO, CO_2, SO_2, dan aromatik yang lebih rendah dibandingkan dengan solar. Biodiesel juga memiliki angka setana yang lebih besar dibandingkan dengan solar. Angka setana solar biasanya berkisar antara 42 sampai 45, sedangkan biodiesel berkisar antara 46 sampai 52 dan angka setana biodiesel dari lemak hewani berkisar 56 sampai 60. Biodiesel juga dianggap lebih aman karena memiliki toksisitas yang rendah, titik didih yang lebih tinggi, dan tekanan uap yang lebih rendah. Selain itu, biodiesel dapat dengan mudah dicampur dengan minyak solar tanpa bantuan aditif dan memiliki sifat yang mirip dengan diesel minyak bumi (Arjanggi and Kansedo, 2019).

Biodiesel juga memiliki beberapa kekurangan yang harus diatasi seperti penggunaan biodiesel mengeluarkan jumlah nitrogen oksida (NO_x) yang jauh lebih besar dibandingkan dengan solar,dan dapat membahayakan lingkungan karena berkontribusi pada pembentukan hujan asam. Biodiesel juga dapat menyebabkan mesin menjadi tersumbat dan aus. Hal ini disebabkan oleh karakteristik pelarut biodiesel, khususnya terhadap polimer. Penggabungan aditif dalam biodiesel memecahkan banyak masalah teknis dan membantu memenuhi standar (Arjanggi and Kansedo, 2019).

Tabel 1. Sifat fisik dan kimia biodiesel (Demirbas, 2009)

Sifat	Biodiesel
Titik nyala	403 K min
Air dan sedimen	0,05 max %vol
Sulfur	0,05 max %mass
Korosi pada tembaga	3 max
Angka setana	47 min
Residu karbon	0,05 max %mass

2.1.1 Reaksi Transesterifikasi

Proses transesterifikasi adalah salah satu proses yang paling sukses dan menjanjikan mengubah minyak nabati menjadi bahan bakar seperti biodiesel. Proses transesterifikasi bisa dilakukan dalam sistem homogen atau heterogen dengan menggunakan asam, basa, atau enzim katalis. Untuk bahan baku yang memiliki kandungan asam lemak bebas atau *free fatty acid* (FFA) yang lebih sedikit, basa homogen katalis telah dilaporkan lebih cocok digunakan untuk transesterifikasi dengan hasil lebih baik dan konversi yang cepat meningkat (Agarwal *et al*., 2011).

Biodiesel biasanya diproduksi melalui transesterifikasi trigliserida dengan alkoholdan katalis.Reaksi umum antara trigliserida dan alkohol menghasilkan biodiesel berupa asam lemak alkil ester atau *fatty acid alkyl esters* (FAAE) seperti padaPersamaan 1, 2, dan 3.

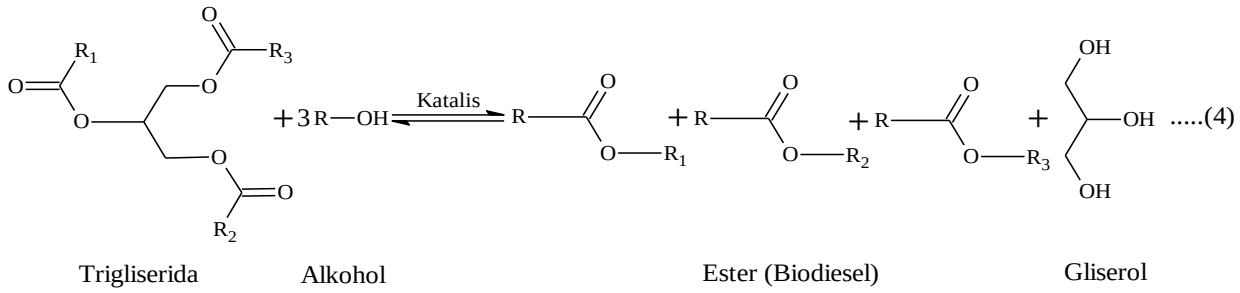
$$\text{Trigliserida (TG)} + \text{R-OH} \rightleftharpoons \text{Digliserida (DG)} + \text{FAAE} \quad .....(1)$$

$$\text{Digliserida (DG)} + \text{R-OH} \rightleftharpoons \text{Monogliserida (MG)} + \text{FAAE} \quad .....(2)$$

$$\text{Monogliserida (MG)} + \text{R-OH} \rightleftharpoons \text{Gliserol} + \text{FAAE} \quad .....(3)$$

Produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi dengan metanol merupakan yang paling umum digunakan.Produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi dengan alkohol yang paling umum digunakan adalah metanol. Metanol dipilih dalam produksi biodiesel karena relatif murah dan reaktif. Kadar air dalam alkohol sangat penting untuk keberhasilan dalam aplikasi produksi biodiesel dikarenakan dengan adanya air selama reaksi transesterifikasi dapat menyebabkan hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas dan pembentukan sabun, serta hasil yang buruk. Namun seluruh alkohol rantai pendek bersifat higroskopis yang dapat dengan mudah menyerap air dari atmosfer. Di samping itu, alkohol rantai panjang sebagian besar sensitif terhadap kontaminasi air. Seluruh alkohol rantai pendek memiliki sifat higroskopis yaitu dapat dengan mudah menyerap air dari atmosfer sedangkan alkohol rantai panjang sebagian besar sensitif terhadap air. Karena dalam produksi biodiesel selama reaksi transesterifikasi air dapat menyebabkan hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas, pembentukan sabun dan hasil yang buruk(Musa,2016).

Reaksi alkoholisis juga dikenal sebagai reaksi transesterifikasi triasilgliserol dan reaksi esterifikasi asam lemak bebas. Dalam stoikiometri reaksi transesterifikasi satu molekul triasilgliserol bereaksi dengan tiga molekul alkohol menghasilkan tiga mol alkil asam lemak ester dan satu molekul gliserol. Proses ini terdiri dari tiga reaksi bolak-balik berurutan. Reaksi umum proses transesterifikasi dapat dilihat pada Persamaan 4.



.....(4)

Reaksi transesterifikasi adalah proses reaksi yang dapat bolak-balik sehingga alkohol berlebih biasanya diperlukan untuk menggeser kesetimbangan reaksi menuju pembentukan biodiesel. Jenis alkohol yang dapat digunakan untuk reaksi alkoholisis seperti rantai pendek, rantai panjang, dan alkohol siklik. Metanol dan etanol digunakan secara luas karena lebih reaktif mudah didapat, dan biaya rendah. Produksi biodiesel melalui jalur transesterifikasi sangat bergantung pada sifat bahan baku. Reaksi transesterifikasi dengan katalis basa lebih cepat daripada dengan katalis asam. Tetapi penggunakaan katalis basa tidak efektif untuk minyak yang memiliki kandungan asam lemak bebas yang tinggi menghasilkan sabun(Reza*et al.*, 2012).

Pembentukan sabun mengurangi hasil akhir biodiesel karena ester larut dalam fase gliserol yang mengarah ke pembentukan emulsi ester-gliserol sehingga pemisahan dan pemurnian produk menjadi rumit. Pembentukan sabun terjadi karena adanya reaksi antara asam lemak bebas dengan katalis basa, reaksi tersebut dapat dilihat pada Persamaan 5.

$$\underset{\text{asam lemak bebas}}{R{-}COOH} + \underset{\text{basa}}{NaOH} \rightleftharpoons \underset{\text{air}}{H_2O} + \underset{\text{sabun}}{R{-}COONa} \quad .....(5)$$

Salah satu opsi yang memungkinkan untuk meminimalkan jumlah asam lemak bebas pada bahan baku berkualitas rendah adalah melalui proses penyabunan. Selanjutnya, proses ini akan memakan banyak katalis denganproses pemisahan dan unit pemurnian yang diperlukan lanjut. Alternatif lain yang direkomendasikan secara luas adalah proses transesterifikasi menggunakan katalis asam dari asam lemak bebas. Asam lemak bebas dengan kualitas rendah reaksikan dengan alkohol dan katalis asam untuk menghasilkan asam lemak bebas ester. Reaksi umum untuk transesterifikasi asam lemak bebas dapat dilihat pada Persamaan 6.

$$\underset{\text{asam lemak bebas}}{R{-}COOH} + \underset{\text{alkohol}}{R{-}OH} \rightleftharpoons \underset{\text{air}}{H_2O} + \underset{\text{biodiesel}}{R_1{-}COOR} \quad .....(6)$$

Walaupun katalis asam dapat digunakan untuk reaksi transesterifikasi, tetapi katalis ini memiliki kelemahan yaitu membutuhkan waktu reaksi yang lama. Keuntungan utama dari proses transesterifikasi katalis asam adalah

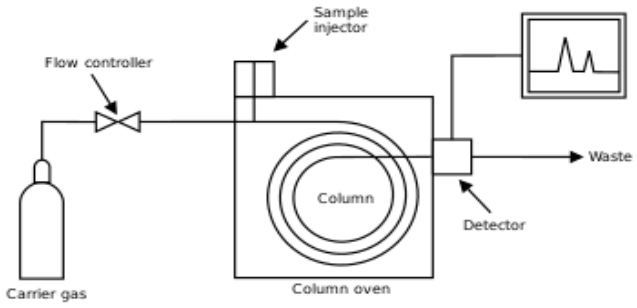
memungkinkan penggunaan minyak non-nabati, lemak unggas, produk sampingan industri, dan bahan baku lainnya dengan jumlah asam lemak bebas yang tinggi untuk produksi biodiesel (Avhad and Marchetti, 2015).

2.1.2 Karakterisasi Biodiesel

Biodiesel yang diperoleh dari reaksi transesterifikasi dikarakterisasi lebih lanjut untuk mendapatkan data mengenai karakteristik biodiesel, meliputi; analisis komposisi metil ester yang terkandung dalam biodiesel dengan menggunakan *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS) dan karakterisasi fisik biodiesel seperti densitas.

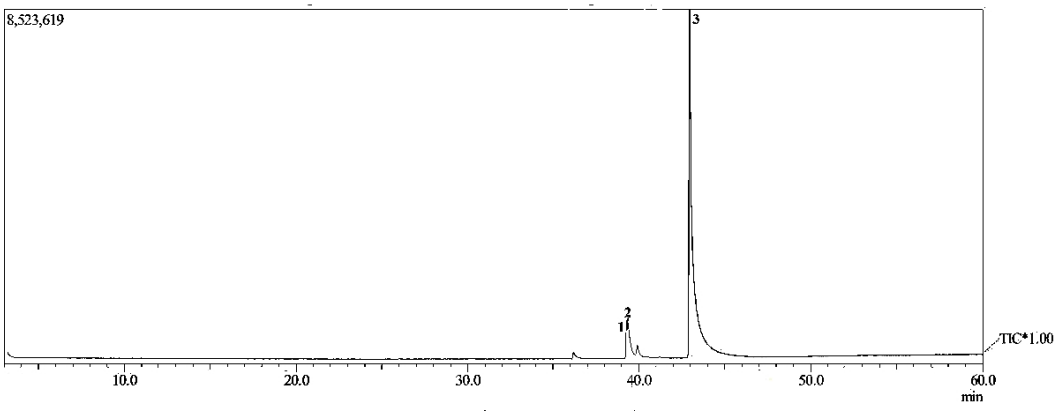
2.1.2.1 *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS)

GC-MS merupakan metode pemisahan senyawa organik menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa secara kualitatif dan spektrofotometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Kromatografi gas adalah metode analisis dengan sampel terpisahkan secara fisik menjadi bentuk molekul yang lebih kecil (hasil pemisahan berupa kromatogram). Spektrometri massa adalah metode analisis dengan sampel yang diubah menjadi ion dan massa sehingga dari ion tersebut dapat diukur dalam bentuk spektrum massa. Adapun skema instrumen GC-MS dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema instrumen GC-MS

Prinsip kerja instrumen GC-MS adalah sebagai berikut; sampel diinjeksikan ke dalam kromatografi gas, diubah menjadi fasa uap dan dialirkan melewati kolom kapiler dengan bantuan gas pembawa. GC-MS biasanya digunakan untuk analisis kualitatif senyawa organik yang pada umumnya bersifat mudah menguap.Hasil pemisahandari analisis memiliki sifat yang khas untuk setiap jenis senyawa (Yusof*et al*., 2015).



Gambar 2. Kromatogram GC dari*Ricinius communis*produk transesterifikasi minyak

Gambar 2 adalah contoh hasil analisi spektroskopi GC-MS yang menjelaskan bahwa kromatogram memiliki 3 puncak terpisah yaitu metil linoleat, metil elaidat dan metil risinoleat. Ketiga senyawa tersebut merupakan metil ester dari gliserida yang terkandung dalam minyak *Ricinius communis*(Pandiangan *et al*., 2019).

2.1.2.2 Densitas

Densitas adalah perbandingan jumlah massa suatu zat terhadap volumenya.densitas dalam bentuk cairan dapat diukur menggunakanpiknometer. Densitas dapat berubah tergantung pada tekanan atau temperatur. Karakteristik ini berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel/biodiesel

persatuan volume bahan bakar. Densitas (ρ) didefinisikan sebagai massa persatuan volumePersamaan 7.

$$\rho = \frac{m}{v} \qquad .....(7)$$

keterangan: ρ = densitas (kg/m^3)

m = massa (kg)

v = volume (m^3)

2.2 Katalis

Katalis adalah suatu zat atau senyawa yang berfungsi untuk mempercepat jalannya suatu reaksi kimia dengan cara menurunkan energi aktivasi. Pada umumnya katalis terbentuk oleh beberapa komponen yaitu; situs aktif dan penyangga. Katalis pada umumnya mempunyai sifat sebagai berikut; aktivitas, stabilitas, selektivitas, regenerasi, dan kekuatan mekanik. Secara umum katalis mempunyai 2 fungsi yaitu mempercepat reaksi menuju kesetimbangan (fungsi aktivitas) dan meningkatkan hasil reaksi yang diinginkan(fungsi selektivitas) (Nasikin dan Susanto, 2010).

Katalis dapat digolongkan ke dalam 2 jenis yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen berada dalam fase yang sama dengan reaktan ~~pada~~dalam suatu reaksi. Semua reaktan dan katalis berada dalam satu fasa tunggal cair atau gas, sehingga pada proses pemisahan dari campuran terkadang juga mengalami penghambatan dalam penggunaan di industri. Sedangkan katalis heterogen yang memiliki fase berbeda dengan reaktan sehingga lebih mudah dipisahkan dari produk reaksi dan dapat digunakan kembali. Katalis heterogen diyakini bahwa hanya situs tertentu pada permukaan katalis yang berperan dalam suatu reaksi. Situs tersebut adalah situs aktif berupa atom tidak berikatan atau atom dengan sifat kimia yang memungkinkan interaksi atom yang teradsorbsi reaktan(Istadi, 2011).

2.3 Biji Karet

Karet (*Hevea brasiliensis Muell. Arg*) merupakan salah satu komoditas pertanian yang penting untuk Indonesia dan lingkup Internasional. Perkebunan karet merupakan salah satu hasil pertanian yang banyak menunjang perekonomian negara. Selain menghasilkan lateks pohon karet juga menghasilkan biji karet yang belum dimanfaatkan secara optimum dimana dalam daging biji karet sangat berpotensi untuk dimanfaatkan karena memiliki kandungan minyak tinggi yakni sebesar 50%. Seiring meningkatnya kebutuhan bahan bakar, pemanfaatan minyak biji karet semakin banyak diteliti. Minyak biji karet mengandung asam-asam lemak yang mempunyai manfaat dan bernilai ekonomi tinggi, seperti asam palmitat, stearat,oleat, linoleat, dan linolenat (Ketaren, 1986).

Indonesia memiliki perkebunan karet terbesar di dunia (lebih dari 3 juta ha) dengan menghasilkan karet sebagai produk utama, perkebunan karet juga berpotensi menghasilkan produk tambahan berupa biji karet yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber minyak biji karet. Tingginya potensi biji karet sebagai sumber minyak nabati ditunjukkan dengan data bahwa satu hektar tanaman karet yang memiliki populasi sekitar 500 pohonberumur lebih dari 10 tahun, dapat menghasilkan lebih dari 5 ton biji karet. Jika kadar lemak biji karet sebesar 32%, maka dapat dihasilkan sekitar 1,5 ton minyak per hektar. Jika biji karet dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku biodiesel, maka lebih dari 4,5 juta liter biodiesel per tahun dapat diproduksi. Pengelolaan biji karet belum maksimalterutama pasca panen. Pengolahan pasca panen yang kurang tepat dapat mengakibatkan penurunan kadar minyak karena terjadi kerusakan pada biji karet. Sehingga perlu perlakuanyang mampu menghasilkan peningkatan kadar yakni dengan mengupas kulit biji sampai diperoleh kernel, dikeringkan agar menghilangkan kadar air dan kemudian diperas menggunakanalat untuk mendapatkan minyak mentah (Hidayat dkk., 2009).

Biji karet mengandung sekitar 40-50%-b minyak nabati dengan komposisi asam lemak yang dominan adalah asam oleat dan asam linoleat, sementara sisanya berupa asam palmitat, asam stearat, asam arachidat dan asam lemak

lainnya(Setyawardhani dkk., 2010). Komposisi asam lemak biji karet dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi asam lemak dalam biji karet (Setyawardhani dkk., 2010)

Komposisi	Persentase (%-b)
Asam palmitat	13,11
Asam stearate	12,66
Asam arachidat	0,54
Asam oleat	39,45
Asam linoleate	33,12
Asam lemak lainnya	1,12

Mutu minyak yang berasal dari biji-bijian khususnya biji karet dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Kualitas dan kemurnian bahan baku.
   Kualitas minyak biji karet yang tercampur dengan bahan asing atau biji yang berkualitas jelekmenyebabkan minyak cepat rusak dan berbau.
2. Kadar air yang terkandung dalam biji karet.
   Biji karet yang disimpan dalam ruangan lembab akan mengandung kadar air yang tinggi, sehingga menghasilkan minyak dengan mutu yang kurang baik.
3. Proses dan perlakuan
   Perlakuan terhadap bahan baku pada saat proses dan pasca-prosesmempengaruhi mutu minyakseperti ukuran pencacahan yang dilakukan, pemilihan jenis pelarut, penyimpanan minyak hasil proses, dan sebagainya (Larranaga *et al*., 2016).

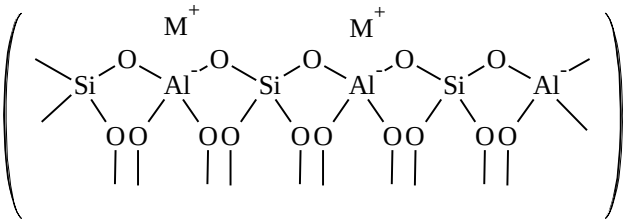
Pemanfaatan minyak biji karet dalam berbagai industri lebih lanjut ditentukan oleh sifat fisika dan kimianya. Berikut ditampilkan hasil analisis karakteristik minyak biji karet mentah pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik minyak biji karet

Karakteristik	Nilai
Nilai saponifikasi	187,6 – 191,4 mg KOH/g
Bilangan iod	133,8 – 146,6 mg/g
Indeks bias	1,4743 – 1,4749
Gravitasi spesifik	0,925 – 0,929 g/cm^3
Persen bilangan tak tersabunkan	0,6 – 1,0 %

2.4 Zeolit

Katazeolit berasal dari bahasa Yunani yaitu "*Zeni*" dan "*Lithos*" yang berarti batu yang mendidih, karena apabila dipanaskan membuih dan mengeluarkan air. Struktur kristal zeolit ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur umum kerangka zeolit

Rumus umum zeolit dapat dituliskan dengan : $M^{x/n}[(AlO_2)_x.(SiO_2)_y].wH_2O$

Dimana: n : valensi dari kation M

w : jumlah molekul air per satu unit sel,

y : total jumlah tetrahedral per satu unit sel

[ ] : struktur kerangka alumina silikat

M^+: kation alkali / alkali tanah

Secara umum zeolit mampu menyerap, menukar ion dan menjadi katalis, sehingga digunakan untuk keperluan alternatif pengolah limbah yakni zeolit sintesis (Utomo dan Yunita, 2014).

Zeolit merupakan padatan kristal mikropori dengan struktur kerangka yang tersusun dari tetrahedral Al_2O_3dan SiO_2.Zeolit memiliki senyawayang berbeda pada struktur dan adsorpsi permukaan memungkinkan dapat digunakan untuk proses peningkatan hasil produk biodiesel. Zeolit dapat disintesis secara tradisional dari natrium silikat dan aluminat.Zeolit berbentuk kristal aluminosilikat terhidrasi yang memiliki muatan positif dari ion-ion logam alkali dan alkali tanah dimana setiap oksigen dibatasi dua tetrahedral (Septiyana dan Prastyoko, 2012).

Menurut Utomo dan Yunita(2014), zeolit memiliki beberapa sifat yaitu:

1. Dehidrasi.

   Sifat dehidrasi dari zeolit berpengaruh terhadap sifat adsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan pori-pori kristal zeolit, bila kation-kation atau molekul air tersebut dikeluarkan dari dalam pori dengan suatu perlakuan tertentu maka akan tertinggal pori yang kosong.
2. Adsorpsi.

   Dalam keadaan normal ruang hampa kristal zeolit terisi oleh molekul air yang bila dipanaskan pada suhu 100–110°Cmengakibatkan air tersebut menguap sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan.
3. Pertukaran ion

   Ion-ion pada rongga atau kerangka zeolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas dalam rangka zeolit dan bertindak sebagai ”*counter ion*” yang dapat dipertukarkan dengan kation-kation lain. Pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan ataupun jenis zeolitnya. Sifat penukar ion dari zeolit tergantung dari sifat kation, suhu dan jenis anion.
4. Katalis.

   Zeolit berfungsi sebagai katalis yang baik karena mempunyai pori-pori yang banyak dengan luas permukaan maksimum. Zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi.

5. Penyaring/pemisah.

   Zeolit sebagaipenyaring atau pemisah molekul didasarkan atas perbedaan bentuk dan ukuran. Molekul yang berukuran lebih kecil dari ukuranpori-poridapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar akan ditahan.

2.4.1 Zeolit Sintesis

Zeolit sintesis adalah zeolit yang dibuat sedemikian rupa sehingga diperoleh karakter yang lebih baik dari zeolit alam. Zeolit sintesis juga dapat ditambahkan senyawa murni dengan mudah, sehinggamemiliki komposisi yang tetap dengan tingkat kemurnian yang tinggi(Bogdanov *et al*., 2009). Penelitian yang sudah dilakukanmenghasilkan zeolit sintesis yang beragam dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rumus oksida beberapa jenis zeolit sintesis(Bogdanov *et al*., 2009)

Zeolit	Rumus Oksida
Zeolit A	$Na_2O.Al_2O_3.2SiO_2.4,5H_2O$
Zeolit N-A	$(Na,TMA)_2O.Al_2O_3.4,8SiO_2.7H_2O$TMA $–(CH_3)_4N^+$
Zeolit H	$K_2O.Al_2O_3.2SiO_2.4H_2O$
Zeolit L	$(K_2Na_2)O.Al_2O_3.6SiO_2.5H_2O$
Zeolit X	$Na_2O.Al_2O_3.2,5SiO_2.6H_2O$
Zeolit Y	$Na_2O.Al_2O_3.4,8SiO_2.8,9H_2O$
Zeolit P	$Na_2O.Al_2O_3.2\text{-}5SiO_2.5H_2O$
Zeolit O	$(Na,TMA)_2O.Al_2O_3.7SiO_2.3,5H_2O$ TMA$(CH_3)4N^+$
Zeolit Ω	$(Na,TMA)_2O.Al_2O_3.7SiO_2.5H_2O$ TMA $–(CH_3)4N^+$
Zeolit ZK-4	$0,85Na_2O.0,15(TMA)_2O.Al_2O_3.3,3SiO_2.6H_2O$
Zeolit ZK-5	$(R,Na_2)O.Al_2O_3.4\text{-}6SiO_2.6H_2O$

Menurut Kurniawati (2010), zeolit sintesis dapat dikelompokkan sesuai dengan perbandingan kadar komponen Al dan Si dalam zeolit yakni:

a. Zeolit kadar Si rendah (kaya Al).

   Zeolit jenis ini banyak mengandung Al, berpori, mempunyai nilai ekonomi tinggi karena efektif untuk pemisahan dengan kapasitas besar. Volume porinya dapat mencapai 0,5 cm^3. Contoh zeolit Si rendah yaitu zeolit A dan X.

b. Zeolit kadar Si sedang.

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

c. Zeolit kadar Si tinggi.

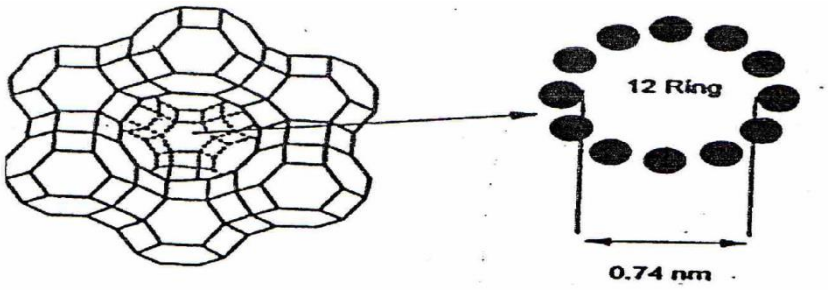
Zeolit jenis ini sangat higroskopis dan menyerap molekul non polar sehingga baik untuk digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Zeolit jenis ini misalnya zeolit ZSM-5, ZSM-11, ZSM-21, ZSM-24.

d. Zeolit Si.

Zeolit Si tidak mengandung Al atau tidak mempunyai sisi kation. Sifat zeolit jenis ini adalah sangat hidrofilik-hidrofobik sehingga dapat mengeluarkan atau memisahkan suatu molekul organik dari suatu campuran air. Contoh zeolit silika adalah silikalit.

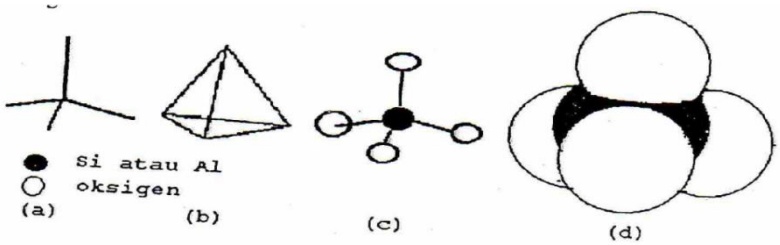
2.4.2 Zeolit-Y

Zeolit-Y memiliki struktur asalyang tersusun atas sangkar-sangkar sodalit dandisatukan melalui perluasan cincin-6 dan bergabung melalui bidang heksagonal, seperti ditampilkan pada Gambar 4.

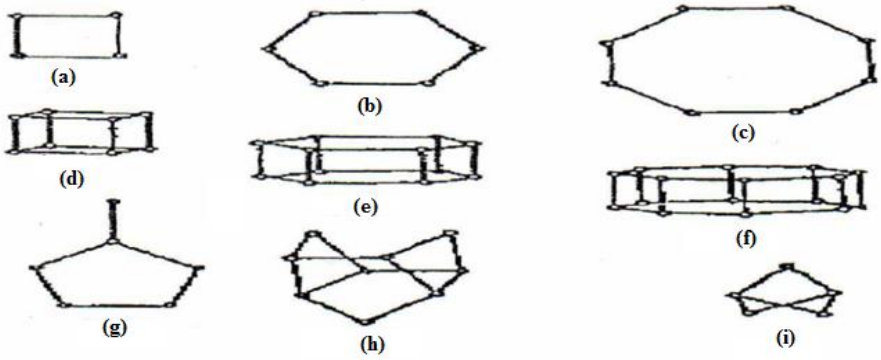


Gambar 4. Struktur zeolit-Y dengan pembukaan cincin-12

Struktur dalam sangkar besar berdiameter 1,3 nm, mempunyai tetrahedral setiap pembukaan cincin-12. Diameter cincin-12 berukuran 0,74 nmdimana memungkinkan molekul yang lebih besar masuk dalam sangkar. Unit sub struktur dasar sangkar sodalit tersebut dibentuk dengan kombinasi beberapa bujur sangkar dan beberapa heksagonal dan lebih 24 tetrahedral dapat terkandung dalam polihedral. Unit struktur zeolit yang merupakan penyusun zeolit-Y adalah gabungan dari banyak unit pembangun sekunder (UPS) dan unit pembangun polihedral (UPP). UPS tersebut dapat dibentuk dari UPP seperti ditunjukkan pada Gambar 6. UPP merupakan unit terkecil dalam struktur zeolit yang berupa tetrahedral TO_4 dengan T merupakan Si seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Dalam zeolit-Y rasio Si : Al antara 1 berbanding 3 (Augustine, 1996).



Gambar 5. UPP; (a) Model kerangka, (b) Model ruang, (c) Model bola tongkat, (d) Model bola



Gambar 6. UPS zeolit (a) *single* 4-ring, (b) *single* 6-ring, (c) *single* 8-ring, (d) *double* 4-ring, (e) *double* -6ring, (f) *double* 8-ring, (g) *complex* 5-1, (h) *complex* 4-4-1, dan (i) *complex* 4-1

Empat tetrahedral berhubungan membentuk bujur sangkar (atom T pada pusat) dan enam tetrahedral akan membentuk heksagonal. Empat UPP bergabung menjadi ring 4 bujur sangkar, 6 UPP membentuk ring 6 bujur sangkar, 8 UPP membentuk ring 8 bujur sangkar. Bentuk 4-4 adalah hasil penggabungan 4 buah ring 4, 6-6 adalah gabungan 6 buah ring dan seterusnya, sedangkan 5-1 adalah gabungan satu ring dan satu UPP dan seterusnya (Chambellan and Cornet. 1984).

Struktur pori-pori mikro dan tiga dimensi dari zeolit-Y memungkinkan untuk menyerap bahan lain yang memiliki ukuran molekul lebih kecil dari pori-pori mikronya, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai penyerap (adsorben). Sedangkan adanya rongga-rongga yang terisi ion-ion logam (kation) menyebabkan zeolit-Y dapat digunakan sebagai penukar ion dan saringan molekuler. Struktur zeolit-Y juga memiliki sifat asam Bronsted dan asam Lewis, sehingga zeolit-Y dapat digunakan sebagai pengemban logam katalis. Logam dapat menempel pada seluruh permukaan zeolit-Y, baik permukaan luar maupun yang di dalam pori (Syarifah, 2000).

2.4.3 Proses Hidrotermal

Pemanasan hidrotermal dilakukan dengan larutan prekursor yang dipanaskan pada temperatur relatif tinggi (±100°C) dalam wadah tertutup agar terjadi kesetimbangan antara uap air dan larutan. Wadah yang tertutup menjadikan uap air tidak akan keluar,sehingga tidak ada bagian dari larutan yang hilang dan komposisi larutan prekursor tetap terjaga. Hidrotermal merupakan proses kristalisasi dalam sintesis zeolit yang dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu: (1) komposisi larutan, yang terdiri dari SiO_2/Al_2O_3, [OH^-], kation organik dan anorganik, dan anion (selain [OH^-]) [H_2O]. (2) Waktu kristalisasi. (3) Suhu kristalisasi. (4) Beberapa faktor pengadukan, misalnya senyawa tambahan, jenis pengaduk, dan tipe arah pengadukan (Kurniawati, 2010).

2.5 Logam Nikel

Nikel adalah logam putih mengilapyang dapat melebur pada suhu 1455°Cdan bersifat magnetis. Logam nikel merupakan logam golongan VIII B yang mempunyai orbital 3d belum penuh. Sesuai aturan Hund, logam nikel pada orbital 3d terdapat 2 elektron tak berpasangan. Logam nikel mudah membentuk ikatan kovalen koordinat sehingga pembentukan antara zat pada permukaan katalis lebih mudah. Logam nikel berfungsi sebagai katalis dalam proses perengkahan. Logam ini memiliki sifat katalitik yang lebih baik dibandingkan Pt,dan harga logam nikel lebih murah sehinggabanyak digunakan untuk *hydrotreating* maupun perengkahan. Logam-logam ini secara langsung dapat berfungsi sebagai katalis tanpa diembankan (dimpregnasikan) terlebih dahulu, tetapi memiliki kelemahanyakni selama proses katalitik dapat terjadi penggumpalan (Trisunaryanti *et al*., 2005).

Logam nikel sudah digunakan secara luas dalam industri petroleum. Selain harganya relatif terjangkau, logam ini memiliki daya adsorpsi terhadap reaktan yang kuat. Katalis nikel mampu mengadsorpsi gas hidrogen pada permukaannya saja dan mengaktifkan ikatan hidrogen, sehingga gas hidrogen menjadi lebih mudah bereaksi. Semakin luas permukaan logam katalis, maka akan semakin banyak gas hidrogen yang diserap. Demikian pula dengan semakin besar luas permukaan, maka zat yang bereaksi juga bertambah banyak, sehingga kecepatan reaksi juga bertambah besar (Hart*et al*., 2004).

2.6 Impregnasi

Impregnasi merupakan proses penjenuhan zat tertentu secara keseluruhan yang sering digunakan untuk mensintesis katalis. Secara sumum, impregnasi dibagi menjadi dua, yaitu impregnasi langsung (*co-impregnation*) dan impregnasi bertahap (*sequential*). Impregnasi langsung yaitu memasukkan larutan garam logam komponen aktif dan promotor secara bersama-sama dalam pori-pori penyangga. Impregnasi bertahap dilakukan dengan memasukkan larutan garam logam komponen aktif dan promotor secara terpisah. Impregnasi bertahap

dapatmenghasilkan katalis yang memiliki aktivitas lebih tinggi karena tidak dibatasi oleh konsentrasi (Lestari, 2010).

2.7 Silika Sekam Padi

Silika atau silikon dioksida (SiO_2) merupakan senyawa yang banyak ditemukan dalam bahan galian yang disebut pasir kuarsa. Pasir kuarsa mempunyai komposisi gabungan dari SiO_2, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, TiO_2, CaO, MgO, dan K_2O, berwarna putih bening atau berwarna lain tergantung pada senyawa pengotornya. Pasir kuarsa memiliki kristalinitas yang tinggi dan banyak mengandung senyawa pengotor sehingga mengurangi kemampuannya sebagai adsorben (Mujiyanti dkk., 2010).

Sekam padi merupakan salah satu produk lain dari penggilingan padi yang melimpah. Pemanfaatan sekam padi selama ini dilakukan terbatas dalam upaya untuk meningkatkan nilai ekonomis serta mengurangi dampaknya sebagai limbah. Sekam padi digunakan sebagai sumber silika, bahan bakar, media tanam, dan pemurnian air (Deviani dkk., 2018).

Sekam padi dimanfaatkan sebagai sumber silika karena kandungan silika yang tinggi, murah, ketersediaannya melimpah, dan tidak beracun. Silika yang berasal dari sekam padi bersifat amorf sehingga untuk peleburan tidak memerlukan waktu yang lama dan temperatur yang tinggi. Silika dari sekam padi dimanfaatkan menjadi sumber silika dalam pembuatan berbagai material berbahan dasar silika, seperti natrium silikat. Natrium silikat banyak digunakan di industri, terutama untuk bahan pembuatan sabun dan detergen, bahan perekat, bahan baku pembuatan beton dan semen, serta sebagai adsorben (Mujiyanti dkk, 2010).

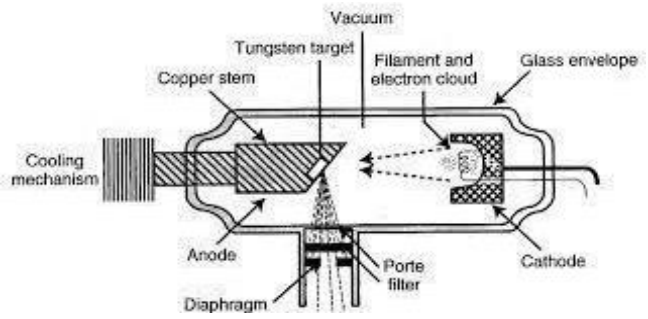
Sekam padi merupakan sumber silika yang saat ini mendapatkan minat untuk dikembangkan, terutama karena memiliki kandungan silika yang sangat tinggi, bersama dengan pertimbangan ketersediaan dan keterbaruan. Selain kemurnian yang tinggi, silika sekam padi dikenal sebagai bahan berpori dan amorf sehingga menjadi bahan baku yang cocok untuk produksi berbagai bahan berbasis silika. Banyak peneliti saat ini terlibat dalam eksplorasi potensi silika sekam padi dan

berbagai aplikasi telah dilaporkan dalam literatur seperti produksi nanosilika, silika gel, karbosil, katalis heterogen, aluminosilikat, zeolit sintesis, dan keramik (Simanjuntak *et al*., 2016)

2.8 *X-Ray Diffraction* (XRD)

Spektroskopi difraksi sinar-X (*X-ray diffraction*) merupakan salah satu metode karakteristik material yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi. Prinsip dari XRD adalah difraksi gelombang sinar-X mengalami *scattering* setelah bertumbukan dengan atom kristal. Pola difraksi yang dihasilkan merepresentasikan struktur kristal. Dari analisis pola difraksi dapat ditentukan parameter kisi, ukuran kristal, dan identifikasi kristalin. Jenis material dapat ditentukan dengan membandingkan hasil XRD dengan katalog hasil difraksi berbagai macam material (Riyanto, 2009).

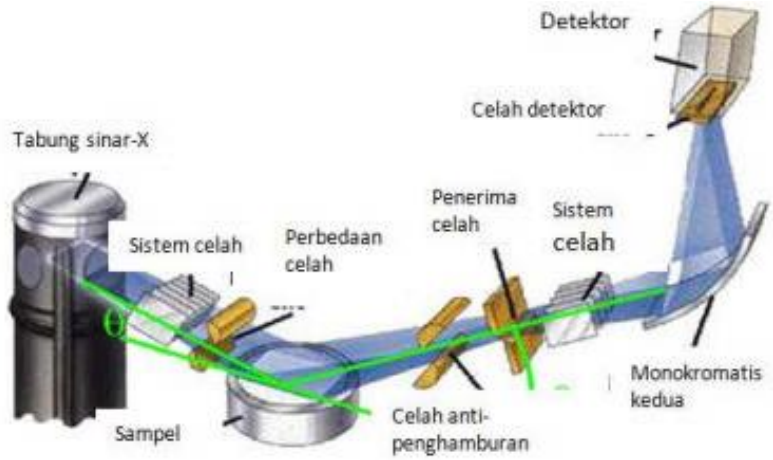
Data yang diperoleh dari metode karakterisasi XRD adalah sudut hamburan (sudut Bragg) dan intensitas. Berdasarkan teori difraksi, sudut difraksi bergantung kepada lebar celah kisi sehingga mempengaruhi pola difraksi, sedangkan intensitas cahaya difraksi bergantung dari berapa banyak kisi kristal yang memiliki orientasi yang sama. Penggunaan metode ini dapat menentukan sistem kristal, parameter kisi, derajat kristalinitas dan fase yang terdapat dalam suatu sampel (Cullity and Stock, 2001). Skema kerja XRD ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram sinar-X

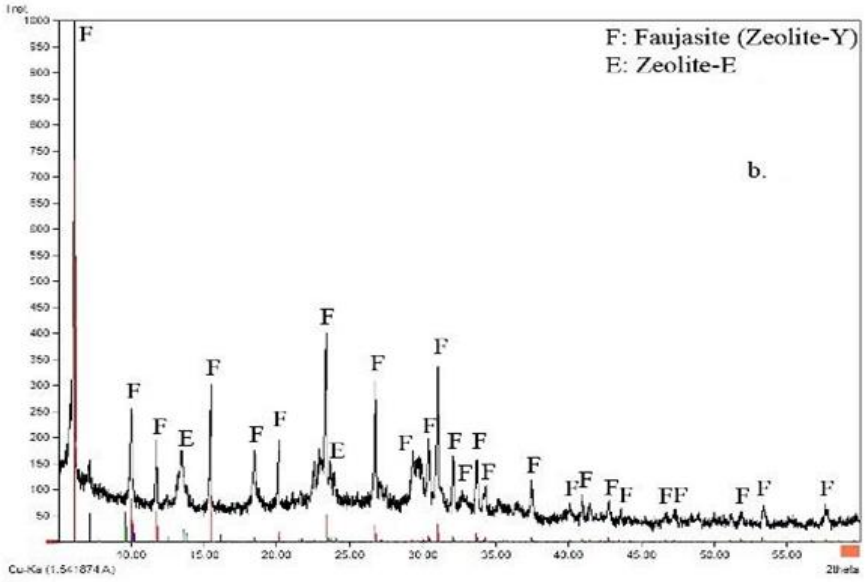
Gambar 7 memperlihatkan bahwa suatu bahan ditembakkan dengan elektron pada kecepatan dan tegangan yang tinggi dalam suatu tabung vakum. Elektron yang berasal dari filamen (anoda) dipercepat dan menumbuk target (katoda) yang berada dalam tabung sinar-X sehingga elektron tersebut mengalami perlambatan (Cullity dan Stock, 2001).

Pancaran sinar X yang mengenai permukaan kristalpada lapisan pertama sebagian sinar akan dipantulkan oleh atom, sinar yang lain akan dipantulkan ke lapisan kedua dan selanjutnya(Anshori, 2009).



Gambar 8. Skema alat difraksi sinar-X (Abdullah dan Khairurrijal, 2009)

Skema alat difraktometer sinar-X ditunjukkan dalam gambar 8 dengan panjang gelombang sinar-X sekitar 1,540 Å. Sinar-X yang berasal dari anoda melewati sistem celah agar berkas sinar yang sampai ke sampel berbentuk paralel dan memiliki tingkat penyebaranyang kecil. Demikian pula hamburan berkas dari sampel juga melewati sistem celah sebelum ditangkap oleh detektor sinar-X. Sudut datang θ merupakan sudut antara bidang sampel dengan sinar datang, sedangkan sudut hambur 2θ merupakan sudut antara proyeksi sumber sinar-X dengan detektor. Untuk pergerakan sumber sinar-X sebesar θ maka detektor bergerak sebesar 2θ (Suryanarayana andNorton, 1998).



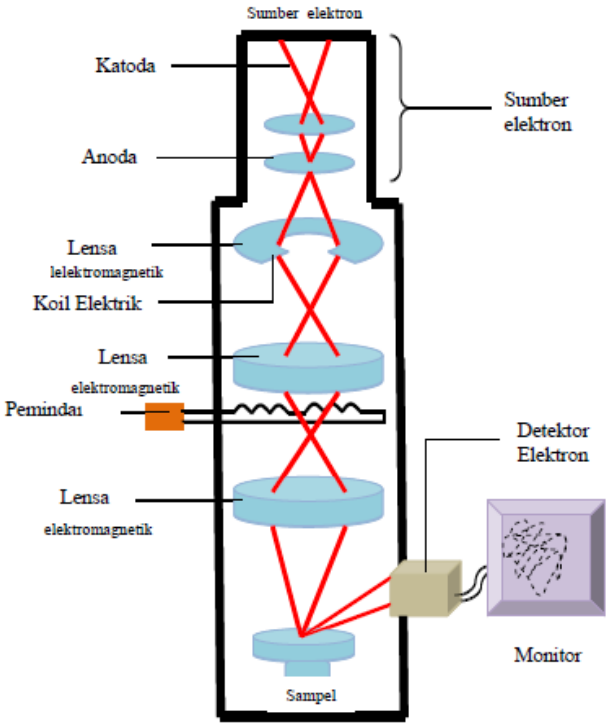
Gambar 9. Difraktogram XRD zeolit-Y dengan waktu kristalisasi selama 48 jam

Gambar 9 merupakan contoh hasil analisis XRD yang menjelaskan bahwa difraktogram sampel didominasi oleh fase kristal yang ditantai dengan adanya puncak tajam pada kisaran 2θ, namun masih ada beberapa fase amorf yang terbentuk. Difraktogram tersebut menggambarkan kristalisasi natrium silikat dan alumunium foil food grade yang terjadi selama proses kristalisasi (Pangesti *et al*., 2021).

2.9 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Scanning Electron Microscopy(SEM) adalah suatu tipe mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses pemindaian dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari elektron dalam suatu pola scan raster. SEM dilengkapi dengan mikroskop optik yang digunakan untuk mempelajari tekstur, topografi, dan sifat permukaan bubuk atau padatan.Ketajaman fokus dari alat SEM menghasilkan gambar yang memiliki kualitas tiga dimensi yang pasti (Goldstein, 1981).

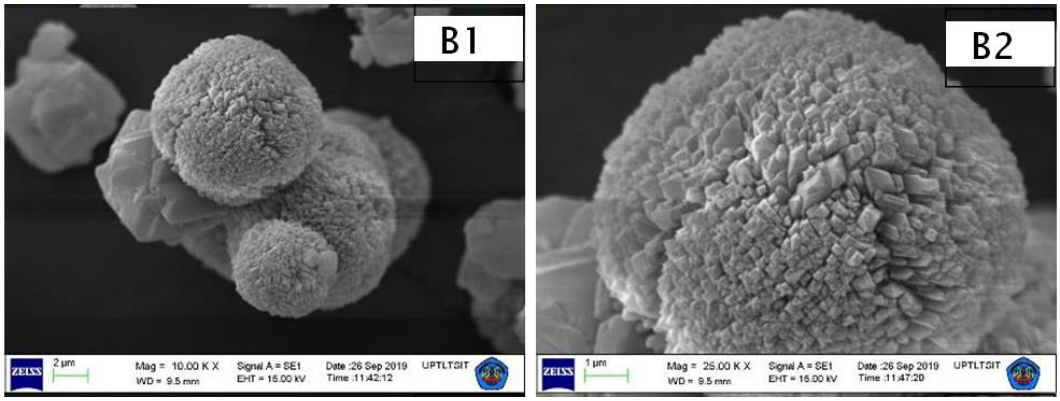
SEM secara umum terdiri dari beberapa komponen yaitu; kolom elektron, ruang sampel, sistem pompa vakum, kontrol elektronik dan sistem pencitraan bayangan. Diagram skematik dari SEM ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Skema kerja alat SEM (Goldstein, 1981)

Berdasarkan Gambar 10 diterangkan bahwa SEM adalah alat instrumen yang terdiri dari sumber elektron yang ditembakkan (*electron gun*), tiga lensa elektrostatik, kumparan scan elektromagnetik yang terletak diantara lensa kedua dan ketiga dan tabung foto multiplier untuk mendeteksi cahaya pada layar *scanner* ke monitor. SEM menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk menghasilkan bayangan. Berkas elektron dihasilkan dengan memanaskan filamen melalui tegangan tinggi, kemudian dikumpulkan melalui lensa kondensor elektromagnetik dan difokuskan oleh lensa objektif. Ketika arus dialirkan pada filamen maka terjadi perbedaan potensial antara kutub katoda dan anoda yang akhirnya akan menghasilkan elektron. Elektron yang dihasilkan selanjutnya akan

melewati celah pelindung pada anoda, lensa magnetik dan lensa objektif. Berkas elektron tersebut dipercepat oleh medan listrik dan menumbuk sampel atau spesimen pada *stage* melalui kumparan scan menghasilkan elektron sekunder, elektron hambur balik yang dipantulkan dari sampel kemudian dideteksi dan dikuatkan oleh tabung multiplier yang kemudian ditransmisikan dari*scanner* ke monitor, sehingga bentuk dan ukuran sampel terlihat dalam bentuk sinaran (Sampson, 1996).



Gambar 11. Mikrograf SEM zeolit-Y dengan waktu kristalisasi 48 jam

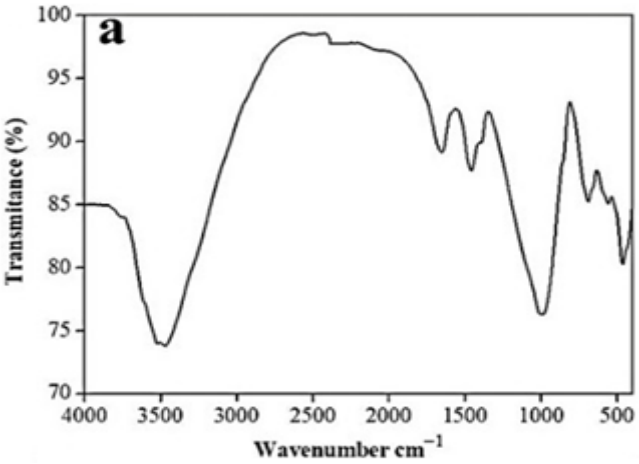
Gambar 11 adalah contoh hasil analisis SEM yang menjelaskan bahwa mikrograf zeolit-Y hasil sintesis dengan waktu kristalisasi 48 jam memiliki karakteristik bentuk yang mirip yaitu lingkaran yang tersusun dari kumpulan blok kristal yang tumbuh mencuat dari pusat lingakaran (Pangesti et al., 2021).

2.10 *Fourier Transform InfraRed* (FTIR)

Fourier Transform InfraRed (FTIR) merupakan salah satu instrumen yang menggunakan prinsip spektroskopi. Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak. Spektroskopi inframerah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang

berada pada daerah panjang gelombang 0,75-1.000 µm atau pada bilangan gelombang 13.000-10 cm^{-1}. Prinsip kerja spektrofotometer inframerah sama seperti spektrofotometer yang lainnya yakni interaksi energi dengan suatu materi. Spektroskopi inframerah berfokus pada radiasi elektromagnetik pada rentang frekuensi 400-4000 cm^{-1}, dimana cm^{-1} yang dikenal sebagai *wavenumber* yang merupakan ukuran unit untuk frekuensi (Silverstein, 2002).

Mekanisme yang terjadi pada alat FTIR adalah sinar yang datang dari sumber sinar akan diteruskan, dan kemudian akan dipecah oleh pemecah sinar menjadi dua bagian sinar yang saling tegak lurus. Sinar ini kemudian dipantulkan oleh dua cermin yaitu cermin diam dan cermin bergerak. Hasil sinar dari pemantulan kedua cermin akan dipantulkan kembali menuju pemecah sinar untuk saling berinteraksi. Sebagian sinar dari pemecahan sinar akan diarahkan menuju cuplikan dan sebagiannya lagi menuju sumber. Gerakan cermin yang maju mundur akan menyebabkan sinar akan berfluktuasi sampai pada detektor. Sinar akan saling menguatkan ketika kedua cermin memiliki jarak yang sama terhadap detektor, dan akan saling melemahkan jika kedua cermin memiliki jarak yang berbeda. Fluktuasi sinar yang sampai pada detektor akan menghasilkan sinyal disebut interferogram. Interferogram akan diubah menjadi spektra IR dengan bantuan komputer berdasarkan operasi matematika (Tahid, 1994).



Gambar 12. Spektrum FTIR sampel zeolit-A dikalsinasi pada suhu 600ºC

Gambar 12 merupakan hasil analisis FTIR yang menjelaskan bahwa spektrum menunjukkan bahwa puncak penyerapan dari basa piridin terletak pada 1659 cm^{-1} yang berhubungan dengan pembengkokan NH, dimana situs asam Lewis ditunjukkan dengan puncak pada posisi sekitar 1450 sm^{-1} (Pandiangan *et al*., 2019).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 5 bulan (Juli 2021 - Novemver 2021) di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Kemudian analisis karakterisasi katalis dengan XRD dilakukan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), XRF di Universitas Negeri Padang, SEM dan FTIR di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung, serta analisis karakterisasi biodiesel dengan GC-MS di Universitas Negeri Semarang (UNNES).

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang digunakan

Penelitian ini menggunakan peralatan antara lain; peralatan gelas, neraca analitik, pisau, oven, spatula, alat press minyak, penangas, piknometer, perangkat refluks, *magnetic stirrer*, termometer, botol polipropilen, teflon, tanur, mortal dan alu, saringan 200 mesh, XRD PANalytical tipe XPert MPD *diffractrometer*, SEM tipe ZEISS EVO MA 10, FTIR merk Thermo Nicolet Avatar 360 dan GCMS-QP 2010 SE.

3.2.2 Bahan yang digunakan

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan antara lain; sekam padi, larutan HNO_3 10%, HNO_3 1 M, NaOH 1,5%, NaOH (Pa), minyak biji karet, akuades, kertas saring, indikator universal, metanol, alumunium foil, dan garam $Ni(NO_3)_2.6H_2O$.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Pembuatan larutan

3.3.1.1 Larutan NaOH 1,5%

Pembuatan larutan NaOH 1,5% dilakukan dengan menggunakan 15 gram NaOHpadatan yang kemudian dilarutkan ke dalam 1000 mL akuades.

3.3.1.2 Larutan HNO_3 10%

Pembuatan larutan HNO_3 10% sebanyak 1000 mL dengan menggunakan 147 mL HNO_3 pekat dilarutkan ke dalam 853 mL akuades atau sampai tanda tera pada labu ukur.

3.3.1.3 Larutan HNO_3 1 M

Pembuatan larutan HNO_3 1 M sebanyak 1000 mL, dilarutkan sebanyak 62,5 mL HNO_3 pekat ke dalam labu takar 1000 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda batas tera.

3.3.1.4 Larutan NiO 5%

Pembuatan larutan NiO 5% dilakukan dengan menimbang 1,9484 gram $Ni(NO_3)_2.6H_2O$ lalu dilarutkan dalam 50 mL akuades kemudian dihomogen.

3.3.1.5 Larutan NiO 10%

Pembuatan larutan NiO 10% dilakukan dengan menimbang 3,8678 gram $Ni(NO_3)_2.6H_2O$ lalu dilarutkan dalam 50 mL akuades kemudian dihomogen.

3.3.1.6 Larutan NiO 15%

Pembuatan larutan NiO 10% dilakukan dengan menimbang 5,8162 gram $Ni(NO_3)_2.6H_2O$ lalu dilarutkan dalam 50 mL akuades kemudian dihomogen.

3.3.1.7 Larutan NiO 20%

Pembuatan larutan NiO 10% dilakukan dengan menimbang 7,7486 gram $Ni(NO_3)_2.6H_2O$ lalu dilarutkan dalam 50 mL akuades kemudian dihomogen.

3.3.2 Ekstraksi Silika Sekam Padi

Silika sekam padi diperoleh dari sekam padi menggunakan metode ekstraksi alkali. Sebelum sekam padi terlebih dahulu dibersihkan dari pengotor hasil pengolahan padi. Sekam padi yang sudah bersih dan kering ditimbang 50 g, lalu dimasukkan ke dalam gelas kimia yang berisi 500 mL larutan NaOH 5% dan dipanaskan sampai mendidih. Saat mendidih dilakukan pengadukan selama 30 menit untuk menghilangkan pengotor. Hasil ekstraksi dibiarkan dingin hingga suhu kamar, lalu sekam padi disaring untuk dipisahkan dari filtratnya. Kemudian filtrat yang dihasilkan ditambahkan larutan HNO_3 10% sampai diperoleh pH netral (pH = 7) dan didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar sehingga terbentuk gel silika. Lalu gel silika yang sudah terbentuk dicuci menggunakan air panas untuk menghilangkan pengotor organik yang masih menempel. Gel silika yang sudah bersih dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 80°C, lalu digerus dan diayak menggunakan saringan 200 mesh. Silika yang diperoleh digunakan untuk mensintesis zeolit-Y.

3.3.3 Sintesis Zeolit-Y

Sintesis zeolit-Y dilakukan dengan metode hidrotermal. Sebanyak 22,2 gram NaOH *pellets* dilarutkan dengan 200 mL akuades, kemudian ditambahkan 20 gram silika sekam padi ke dalamnya. Campuran diadukdan dipanaskan selama 3 jam menggunakan*magnetic stirrer*. Setelah 3 jam, campuran disaring menggunakan kertas saring dan di-*aging* selama 24 jam. Selanjutnya, potongan alumunium foil *food grade* sebanyak 3,75 gram dimasukkan ke dalam filtrat dan diadukselama 3 jam, hasilnya dimasukkan ke dalam autoklaf untuk proses *aging* selama 24 jam. Kemudian, autoklaf berisi sampel dimasukkan ke dalam oven untuk proses kristalisasi selama 48 jam pada suhu 100°C. Sampel dikeluarkan dari oven lalu didinginkan dan sampel disaring menggunakan kertas saring. Endapan yang diperoleh dicuci dengan akuades hingga pH netral, kemudian endapan dikeringkan di dalam oven dengan suhu 80°C. Setelah kering, zeolit-Y dikalsinasi menggunakan tanur selama 6 jam dengan variasi suhu kalsinasi 550°C. Zeolit-Y yang diperoleh selanjutnya diimpregnasi menggunakan NiO.

3.3.4 Pembentukan Komposit NiO/Zeolit-Y

Komposit NiO/zeolit-Y dibuat dengan cara pengembanan logam (impregnasi, yakni memasukkan logam Ni ke dalam zeolit-Y) dengan cara dilarutkan $Ni(NO_3)_2.6H_2O$ ke dalam akuades. Zeolit-Y diambil sebanyak 10 gram kemudian direndam dengan 50 mL larutan $Ni(NO_3)_2.6H_2O$ selama 4 jam dan dipanaskan menggunakan *magnetic stirrer*dengan suhu 70 ºC. Variasi konsentrasi logam Ni yang digunakan adalah 5; 10; 15 dan 20%. Setelah itu, komposit NiO/zeolit-Y disaring dan dinetralkan dengan akuades lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80ºC selama 12 jam. Sampel selanjutnya dikalsinasi menggunakan *furnace* dengan suhu 550 ºC selama 6 jam. Komposit NiO/zeolit-Y yang diperoleh kemudian dilakukan karakterisasi menggunakan XRD, SEM dan FTIR.

3.3.5 Karakterisasi Zeolit-Y dan Komposit NiO/zeolit-Y

Karakterisasi zeolit-Y dan katalis komposit NiO/zeolit-Y dilakukan dengan penentuan keasaman total secara gravimetri dengan piridin sebagai basa adsorbat, *X-Ray Diffraction* (XRD) yang digunakan untuk menganalisa pengaruh suhu kalsinasi terhadap struktur kristalografi sampel zeolit dengan apakah sampel bersifat amorf atau kristalin, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan katalis, dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi senyawa dari sampel menggunakan sinar radiasi inframerah.

3.3.5.1 *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi XRD dilakukan menggunakan alat XRD PANalytical tipe XPert MPD *diffractrometer* dengan radiasi CuK (λ = 1,5406 Å) dan intensitas difraksi pada sudut 2θ dengan rentang5-60º. Identifikasi fasa yang terbentuk pada zeolit-Y dikonfirmasikan dengan membandingkan antara data difraksi zeolit-Y hasil sintesis, zeolit-Y hasil impregnasi,dan data difraksi zeolit-Y standar yang diterbitkan oleh IZA.

3.3.5.2 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Karakterisasi SEM dilakukan menggunakan alat SEM tipe ZEISS EVO MA 10 dengan percepatan elektron pada tegangan 20 kV. Instrumen dikontrol pada 30kV. Zeolit-Y dipindai pada perbesaran yang berbeda untuk mendapatkan mikrograf dengan gambar permukaan yang diinginkan.Sampel yang diukur yaitu; zeolit-Y hasil sintesis, dan zeolit-Y hasil impregnasi

3.3.5.3 *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Karakterisasi FTIR dilakukan menggunakan alat FTIR merk Thermo Nicolet Avatar 360 dengan bilangan gelombang 4050-650 cm^{-1}. Pada umumnya zeolit memiliki daya serapan inframerah pada panjang gelombang 1000-1200 cm^{-1} karena mengindikasikan komponen pembangun kerangka zeolit yaitu vibrasi internal kerangka tetrahedral SiO_2/AlO_4. Sebelum dikarakterisasi dengan FTIR sampel terlebih dahulu diuji keasamannya dengan mengadsorpsi basa adsorbat (basa piridin) di dalam desikator selama 24 jam.Sampel yang diukur yaitu zeolit-Y hasil sintesis, dan zeolit-Y hasil impregnasi

3.3.6 Preparasi Minyak Biji Karet

Preparasi minyak biji karet yang pertama dilakukan adalah biji karet dikupas dan dipisahkan dari cangkang luarnya, lalu dipisahkan dari cangkang bijinya dan kemudian dikeringkan di bawah matahari. Biji karet yang sudah kering dimasukkan ke dalam oven selama 30 menit pada suhu 80ºC untuk menghilangkan kadar air yang masih tersisa dalam biji karet. Pengambilan minyak dari biji karet dilakukan dengan menggunakan mesin pengepres, kemudian hasilnya disaring untuk memisahkan minyak dan ampasnya. Minyak biji karet yang diperoleh siap digunakan untuk proses transesterifikasi.

3.3.7 Uji Aktivitas Komposit NiO/Zeolit-Y Sebagai Katalis Transesterifikasi

Pengujian komposit NiO/zeolit-Y sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi minyak biji karet dilakukan dengan mencampurkan setiap 10% komposit NiO/zeolit-Y pada 25 mL minyak biji karet dan 100 mL metanol dalam labu

didih. Kemudian campuran tersebut direfluks menggunakan *hot plate stirrer* pada suhu 70°C selama 6 jam. Hasil refluks didinginkan pada suhu kamar, kemudian disaring menggunakan kertas saring ke dalam corong pisah untuk memisahkan katalis yang tidak terlarut, lalu hasilnya dibiarkan selama 24 jam. Biodiesel yang diperoleh dari proses refluks diuapkan menggunakan penangas air untuk menghilangkan sisa metanol. Selanjutnya dihitung persen konversi minyak biji karet menjadi biodiesel. Pada proses transesterifikasi dipelajari nisbah minyak/metanol (1:12, 1:14, 1:16, 1:8 dan 1:20) untuk memperoleh hasil persen konversi terbaik minyak biji karet menjadi biodiesel.

3.3.8 Uji Kualitas Biodiesel

Produk yang dihasilkan pada penelitian ini(biodiesel) diuji kualitasnya dengan menggunakan parameter densitas berdasarkan SNI 7182:2015.

3.3.8.1 Analisis densitas

Langkah-langkah untuk analisis densitas biodiesel adalah sebagai berikut:

a. Piknometer kosong dikeringkan di dalam oven kemudian ditimbang terlebih dahulu.
b. Piknometer diisi dengan akuades suhu 20°C kemudian disimpan dalam *water bath* pada suhu 25°C selama 30 menit.
c. Piknometer kemudian diangkat, dikeringkan, dan ditimbang (berat akuades diperoleh dari selisih berat piknometer berisi akuades dan berat piknometer kosong).
d. Pada tahap ini minyak didinginkan sampai suhu 20°C.
e. Minyak kemudian dimasukkan ke dalam piknometer yang sebelumnya telah dibersihkan dan dikeringkan hingga meluap dan tidak terbentuk gelembung udara.
f. Bagian luar piknometer dikeringkan dan piknometer ditempatkan di dalam *water bath* pada suhu konstan 25°C selama 30 menit.
g. Piknometer diangkat dari *water bath* lalu dikeringkan, dan ditimbang (berat sampel diperoleh dengan menghitung selisih berat piknometer berisi sampel dan berat piknometer kosong).

Densitas dapat dihitung dengan rumusyang ditunjukkan pada Persamaan 8:

$$\rho = \frac{W_2 - W_1}{V} \qquad .... (8)$$

Keterangan : ρ= densitas sampel (g/mL)

W_2 = berat piknometer kosong (g)

W_1 = berat piknometer yang berisi sampel (g)

V = volume piknometer (mL)

3.3.9 Karakterisasi Biodiesel

Biodiesel hasil proses transesterifikasi dikarakterisasi menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengidentifikasi komponen apa saja yang menyusun produk tersebut dan untuk melihat apakah semua trigliserida yang terdapat pada minyak nabati telah diubah menjadi monoester. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan alat GCMS-QP 2010 SE, gas pembawa berupa Helium, suhu oven kolom 65 ºC, suhu injeksi 250ºC, tekanan 74,5 kPa, laju aliran kolom 16,2 mL/menit, aliran total 1,2 mL/menit kecepatan linier 40 cm/s, rasio pemisahan 3 mL/menit, dan aliran pembersiahan. Hasil analisis berupa grafik kromatogram GC berisi titik puncak tiap senyawa yang ditentukan dengan bobot jenis dan perpustakaan dari GC-MS.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Zeolit-Y telah berhasil disintesis menggunakan silika sekam padi dan alumunium foil *food grade* dengan metode hidrotermal pada suhu 100ºC selama 48 jam, dibuktikan dengan karakterisasi menggunakan XRD dan SEM.
2. Impregnasi zeolit-Y menghasilkan komposit NiO/zeolit-Y dengan kadar NiO yang berbeda berhasil dilakukan menggunakan larutan nikel nitrat dengan konsentrasi yang berbeda.
3. Hasil uji aktivitas komposit NiO/zeolit-Y sebagai katalis transesterifikasi yang dilakukan berdasarkan pengaruh kadar NiO yang diimpregnasi dan pengaruh nisbah minyak : metanol diperoleh hasil optimum sebesar 89% pada nisbah minyak : metanol (1:18) dengan katalis komposit NiO20%/zeolit-Y dan pada waktu transesterifikasi 6 jam.
4. Hasil karakterisasi GC-MS menunjukkan bahwa asam yang terkandung dalam minyak biji karet berubah menjadi metil ester dengan jumlah terbanyak adalah metil linoleat sebesar 39,59%.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk perkembangan penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Menvariasikan logam untuk proses impregnasi pada zeolit-Y.

2. Melakukan uji kualitas biodiesellebih lanjut yangsesuai dengan standar SNI 7182:2015.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M., & Khairurrijal, K. 2014. Review : Karakterisasi Nanomaterial. *Nanosains & Nanoteknologi*, *2*(1), 1–9.

Agarwal, M., Singh, K., Upadhyaya, S., & Chaurasia, S. P. 2011. *Effect of Reaction Parameters on Yield and Characteristics of Biodiesel Obtained from Various Vegetable Oils*. 1–11.

Ahmad, J., Yusup, S., Bokhari, A., & Kamil, N. K. R. 2014. Study of Fuel Properties of Rubber Seed Oil Based Biodiesel. *Energy Conversion and Management*, *78*, 266–275. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.10.056

Anshori, J. Al. 2009. *Siklisasi Intramolekuler Sitronelal Dikatalisis Zeolit Dan Bahan Mesoporus*. Karya Tulis Ilmiah. Universitas Pajajaran.

Arjanggi, R. D., & Kansedo, J. 2019. Recent Advancement and Prospective of Waste Plastics as Biodiesel Additives : A Review. *Journal of the Energy Institute*, *1*(2), 1–19. https://doi.org/10.1016/j.joei.2019.08.005

Augustine, R.L. 1996. *Heterogenous Catalysis For the Synthetic Chemist.* Marchel Dekker. Inc, New York.

Avhad, M. R., & Marchetti, J. M. 2015. A Review on Recent Advancement in Catalytic Materials for Biodiesel Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *50*, 696–718. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.038

Bogdanov B., Georgiev D., Angelova K., & Yaneva K. 2009. *Natural Zeolites : Clinoptilolite Review.* Proceeding of International Science Conference; Stara Zogara, Bulgaria. 359:. 45-59.

Chambellan, A., Cornet, D., 1984. Transition Ions Exchanged Zeolites As Cracking Catalysis by Acid and Based. *Catalysis Today*. 101. 238-242. Amsterdam.

Cullity B. D., & Stock S. R. 2001. *Elements of X-ray diffraction, Third Edition* . Prentice Hall. New York.

Demirbas, A. 2009. Progress and Recent Trends in Biodiesel Fuels. *Energy Conversion and Management*, *50*(1), 14–34. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.001

Deviani, S. S., Mahatmanti, F. W., & Widiarti, N. 2018. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Sekam Padi Menggunakan Metode Hidrotermal. *Indonesian Journal of Chemical Science*, *7*(1), 86–93.

Efiyanti, L., & Santi, D. 2016. Pengaruh Katalis NiO dan NiOMoO Terhadap Perengkahan Minyak Cangkang Biji Jambu Mete. *Penelitian Hasil Hutan*, *34*(3), 189–197.

Efiyanti, L., & Trisunaryanti, W. 2014. Hidrorengkah Katalitik Minyak Kulit Biji Jambu Mete (CNSL) menjadi Fraksi Bensin dan Diesel. *Penelitian Hasil Hutan*, *32*(1), 71–81.

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Echlin, P., Joy, D. C., Fiori, C., & Lifshin, E. 1981. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Plenum Press. New York.

Hart Harold, Lesile E, David J.,& Hart., 2004. *Organic Chemistry*. Cengege learning. New York.

Hidayat, R., Mulyadi, E., dan Soemargono. 2009. *Optimasi Pengolahan Pasca Panen Biji Karet Menjadi Minyak Biji Karet, Prosiding Seminar Nasional Revitalisasi Teknologi Berwawasan Lingkungan*. LPPM UPN Veteran Jawa Timur. Surabaya.

Hu, Q., Li, W., Abouelamaiem, D. I., Xu, C., Jiang, H., Han, W., & He, G. 2019. Hollow Cu-Doped NiO Microspheres as Anode Materials with Enhanced Lithium Storage Performancet. *RSC Advances*, *9*, 20963–20967. https://doi.org/10.1039/c9ra03780b

Istadi. 2011. *Teknologi Katalis untuk Konversi Energi Fundamental dan Aplikasi*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Ketaren, S. 1986. *Minyak dan Lemak Pangan, edisi 1*. Penerbit UI Press. Universitas Indonesia.

Kurniawati, D. 2010. *Sintesis Zeolit Dari Abu Layang Batubara Srcara Hidrotermal Melalui Proses Peleburan Dan Aplikasinya Untuk Penurunan Logam Cr (Krom) Dalam Limbah Industri Penyamakan Kulit*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang.

Larranaga, M. D., Lewis, R. J., & Lewis, S. R. A. 2016. *Hawley's Condensed Chemical Dictionary*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Canada.

Lestari, D. Y. 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia*, *30*, 1–6.

Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D. E., Suwannakarn, K., Bruce, D. A., & Goodwin, J. G. 2005. Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. *Industrial and Engneering Chemistry Research*, *44*(14), 5353–5363.

Morshed, M., Ferdous, K., Khan, M. R., Mazumder, M. S. I., Islam, M. A., & Uddin, T. 2011. Rubber Seed Oil as a Potential Source for Biodiesel Production in Bangladesh. *Fuel*, *90*(10), 2981–2986. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.05.020

Mujiyanti, D. R., Nuryono, N., & Kunarti, E. S. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi yang Diimobilisasi dengan 3-(Trimetoksisilil)-1-Propantiol. *Sains Dan Terapan Kimia*, *4*(2), 150–167.

Musa, I. A. 2016. The Effects of Alcohol to Oil Molar Ratios and the Type of Alcohol on Biodiesel Production using Transesterification Process. *Egyptian Journal of Petroleum*, *25*(3), 21–31.

Nasikin M., dan Susanto B. H. 2010. *Katalis Heterogen*. UI Press. Jakarta.

Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Pratiwi, E., & Rilyanti, M. 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 ICASMI 2018*, *1338*(2019), 1–9. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1338/1/012015

Pangesti, G. G., Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Sascori, S., & Rilyanti, M. 2021. Synthesis of Zeolite-Y from Rice Husk Silica and Food Grade Aluminum Foil using Modified Hydrothermal Method. *Journal of Physics: Conference Series ICASMI 2020*, *7*, 1–8. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1751/1/012089

Pena, R., Romero, R., Martınez, S. L., Ramos, M. J., Martı´nez, A., & Natividad, R. 2009. Transesterification of Castor Oil : Effect of Catalyst and Co-Solvent. *Industrial and Engneering Chemistry Research*, *48*(3), 1186–1189.

Rahayu, F. L., Nuryanto, R., & Suyati, L. (2013). Pengaruh Diameter Kanal Pelet Katalis Zeolit Aktif dan Ni-Zeolit terhadap Pirolisis Limbah Batang Pohon Sagu (Metroxylonsp.). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, *16*(1), 33–37.

Reza, M., Khoshandam, B., Nasiri, M., & Ghazvini, M. 2012. Biodiesel Production via Alkali-Catalyzed Transesterification of Malaysian RBD Palm Oil – Characterization, Kinetics Model. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *43*(4), 504–510. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2012.01.009

Riyanto. 2009. *Diktat Kuliah Kimia Instrumental 1*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Septiyana, B., & Prasetyoko, D. 2012. Sintesis ZSM-5 Berbahan Dasar Kaolin Menggunakan Metode Hidrotermal. *Jurnal Sains DanSeni*, *1*(1), 1–4.

Setyawardhani, D. A., Distantina, S., Henfiana, H., & Dewi, A. S. 2010. *Pembuatan Biodiesel dari Asam Lemak Jenuh Minyak Biji Karet*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Silverstein, R. M. 2002. *Penyelidikan Spektrometrik Senyawa Organik Edisi 4. Terjemahkan Hartomo*. Erlangga. Jakarta.

Simanjuntak, W., Sembiring, S., Pandiangan, K. D., Syani, F., & Situmeang, T. M. 2016. The Use of Liquid Smoke as a Substitute for Nitric Acid for Extraction of Amorphous silica from Rice husk through Sol-Gel Route. *Oriental Journal of Chemistry*, *32*(4), 2079–2085. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13005/ojc/320435

Suryanarayana, C., & Norton, M. G. 1998. *X-Ray Diffraction A Practical Approach*. Plenum Publishing Corporation. New York.

Syarifah, I. 2000. Ni-ZAA untuk Perengkahan Fraksi Minyak Bumi. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. Jurusan Kimia FMIPA UGM. Yogyakarta.

Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., & Sudiono, S. 2005. Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Ni-MO/Zeolit Alam dan MO-Ni/Zeolit Alam. *Teknoin*, *10*(4), 269–282.

Utomo, M. P., & Yunita, I. 2014. *Sintesis Zeolit dari Abu Sekam Padi pada Temperatur Kamar*. Universitas Negeri Yogyakarta.

Yusof, U. K. M., Soh, A. C., Radzi, N. F. M., Ishak, A. J., Hassan, M. K., Ahmad, S. A., & Khamis, S. 2015. Selection of Feature Analysis Electronic Nose Signals Based on the Correlation between Gas Sensor and Herbal Phytochemical. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *9*(March), 360–367.

Zahro, A., Amalia, S., Adi, T. K., & Aini, N. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Y dari Abu Ampas Tebu Variasi Rasio Molar SiO2/Al2O3 dengan Metode Sol Gel Hidrotermal. *Alchemy*, *3*(2), 108–117.