

**STUDI PENGGUNAAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* (RSM)
UNTUK OPTIMASI PRODUK REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK
KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT-A**

(Skripsi)

Oleh

**SELVIA ANGGRAINI HASAN
NPM 1917011056**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

STUDY OF THE USE OF THE RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM) FOR PRODUCT OPTIMIZATION OF THE TRANSESTERIFICATION REACTION OF PALM OIL USING ZEOLITE-A CATALYST

By

SELVIA ANGGRAINI HASAN

Transesterification of palm oil with methanol using zeolite-A catalyst has been carried out in this study. The zeolite-A catalyst was synthesized using silica from rice husk and food grade aluminum foil by hydrothermal method at 100 °C for 72 hours followed by calcination at 550 °C for 6 hours. The resulting zeolite was characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM), Particle Size Analyzer (PSA), dan Brunauer-Emmett-Teller (BET). Evaluation of the optimum conditions for the transesterification reaction was carried out using the Response Surface Methodology (RSM) with 3 factorial levels, namely considering the reaction parameters simultaneously by considering the interaction of one parameter with another. In this study, the reaction parameters that affect the rate of conversion of oil to biodiesel were observed including the amount of catalyst, the ratio of methanol to oil, and reaction time. The results of the research evaluated by RSM showed that the optimum conditions for the transesterification reaction were the amount of catalyst 9.6%, the ratio of methanol:oil 6:1, and the reaction time was 4.3 hours with an oil conversion of 99%. Optimum product yields were then analyzed using GC-MS. The results of the GC-MS analysis showed the formation of a methyl ester mixture with the main components being methyl palmitate and methyl oleate.

Keywords : Zeolite-A, transesterification, RSM, biodiesel, palm oil.

ABSTRAK

STUDI PENGGUNAAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* (RSM) UNTUK OPTIMASI PRODUK REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT-A

Oleh

SELVIA ANGGRAINI HASAN

Transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol menggunakan katalis zeolit-A telah dilakukan pada penelitian ini. Katalis zeolit-A disintesis menggunakan bahan baku silika dari sekam padi dan *aluminum foil food grade* dengan metode hidrotermal pada suhu 100 °C selama 72 jam yang dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 550 °C selama 6 jam. Zeolit yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Particle Size Analyzer* (PSA), dan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET). Evaluasi kondisi optimum reaksi transesterifikasi dilakukan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan 3 level factorial yakni mempertimbangkan parameter reaksi secara bersamaan dengan mempertimbangkan interaksi satu parameter dengan yang lainnya. Pada penelitian ini, diamati parameter reaksi yang mempengaruhi tingkat konversi minyak menjadi biodiesel meliputi jumlah katalis, nisbah metanol terhadap minyak, dan waktu reaksi. Hasil penelitian yang dievaluasi dengan RSM menunjukkan kondisi optimum reaksi transesterifikasi yaitu pada jumlah katalis 9,6%, nisbah metanol:minyak 6:1, dan waktu reaksi 4,3 jam dengan konversi minyak sebesar 99%. Hasil produk optimum kemudian dianalisis menggunakan GC-MS. Hasil analisis GC-MS menunjukkan terbentuknya campuran metil ester dengan komponen utamanya yaitu metil palmitat dan metil oleat.

Kata kunci : Zeolit-A, transesterifikasi, RSM, biodiesel, minyak kelapa sawit

**STUDI PENGGUNAAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* (RSM)
UNTUK OPTIMASI PRODUK REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK
KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT-A**

Oleh

SELVIA ANGGRAINI HASAN

Skripsi

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

pada

Jurusan Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **STUDI PENGGUNAAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)* UNTUK OPTIMASI PRODUK REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT-A**

Nama : **Selvia Anggraini Hasan**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1917011056**

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI
1. Komisi Pembimbing



Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.
NIP. 195907061988111001



Dr. Khoirin Nisa, S.Si., M.Si.
NIP. 197407262000032001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA



Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.



Sekretaris : Dr. Khoirin Nisa, S.Si., M.Si.



Anggota : Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.

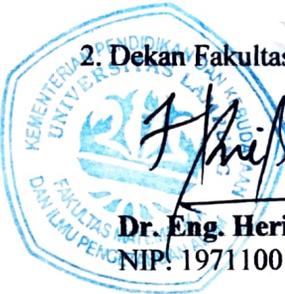


2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP: 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Juli 2023

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Selvia Anggraini Hasan
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011056
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi Saya yang berjudul “Studi Penggunaan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk Optimasi Produk Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Zeolit-A” adalah benar karya sendiri dan Saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 28 Juli 2023



Selvia Anggraini Hasan

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Gunung Tapa Kecamatan Gedung Meneng Kabupaten Tulang Bawang pada 27 Juni 1999, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara.

Penulis merupakan anak dari pasangan Bapak Hasan Raja Lama dan Ibu Elvira Yanti. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Abadi Perkasa pada tahun 2006, SD Negeri 2 Satu Atap Gedung Meneng pada tahun 2012, SMP Negeri 8 Tulang Bawang Barat pada tahun 2015, dan SMA Negeri 2 Menggala pada tahun 2018. Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis mengikuti beberapa kegiatan seperti Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Universitas Lampung sebagai anggota biro kesekretariatan periode 2020-2021, Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Universitas Lampung sebagai staf ahli Dinas Sains dan Pengembangan Masyarakat (SPM) pada periode 2020-2021, anggota peneliti pada Penelitian Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM), pembicara pada Seminar Nasional Ilmu Lingkungan (SNaIL). Penulis juga pernah menjadi asisten Praktikum Kimia Dasar dan tutor mata kuliah Dasar Kinetika. Penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung dengan judul “Uji Efektivitas Karbon Aktif dari Cangkang Biji Karet terhadap Penurunan Kadar *Chemical Oxygen Demand*

(COD) pada Limbah Cair *Laundry*” dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Ringin Sari Kecamatan Banjar Margo, Kabupaten Tulang Bawang.

Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirmu, dan apa yang
ditakdirkan untukmu tidak akan pernah melewatkanmu

(Umar Bin Khattab)

Maka barangsiapa mengerjakan kebaikan seberat zarah, niscaya dia akan
melihat (balasan)nya, dan barangsiapa mengerjakan kejahatan seberat zarah,
niscaya dia akan melihat (balasan)nya

(Q.S Al-Zalzalah: 7-8)

Bismillahirrahmaannirrahiim

Alhamdulillah Rabbil 'Aalamin

Puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan karunia-Nya, kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawab kepada:

Kedua orang tuaku

Bapak Hasan Raja Lama dan Ibu Elvira Yanti

Kedua Saudaraku

Yosa Anggara Hasan dan Thessa Anjani Hasan

yang senantiasa memberikan cinta, kasih sayang, motivasi, doa, semangat dan dukungan untukku. Karya ini tidak sebanding dengan apa yang Aku terima saat ini, maka jika ada ungkapan syukur dan terima kasih yang terindah dari yang paling indah, terbaik dari yang paling baik, akan kupersembahkan untuk kalian.

SANWACANA

Alhamdulillah Rabbil'aalamin puji syukur kehadiran Allah SWT yang sudah melimpahkan rahmat serta hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “**Studi Penggunaan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk Optimasi Produk Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Zeolit-A**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Hasan Raja Lama dan Ibu Elvira Yanti selaku kedua orang tua atas hal-hal luar biasa dalam segala bentuk dan cara yang telah dilakukan untuk penulis, sehingga penulis berada pada titik ini dan dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
2. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak Ph.D. selaku Pembimbing I atas kebaikan, persetujuan, bimbingan, arahan, motivasi, serta saran selama penulisan skripsi ini;
3. Ibu Dr. Khoirin Nisa, S.Si., M.Si. selaku pembimbing II atas persetujuan, bimbingan, arahan, motivasi, serta saran selama penulisan skripsi ini;
4. Ibu Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si. selaku pembahas atas arahan, bimbingan, motivasi, dan saran selama penulisan yang menyempurnakan skripsi ini;
5. Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas dukungan dana yang diberikan melalui Hibah Penelitian Skim Penelitian Dasar 2022, nomor kontrak 2147/UN26.21/PN/2022.
6. Bapak Diky Hidayat, M. Sc. selaku pembimbing akademik atas persetujuan, arahan dan bimbingan selama menjalankan perkuliahan;

7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S. Si., M. Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung;
8. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila;
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung;
10. Seluruh Kepala dan PLP Laboratorium Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam melaksanakan penelitian dan memfasilitasi tempat serta segala sesuatu yang berkaitan dengan penelitian;
11. Seluruh staf administrasi dan pegawai di lingkungan Jurusan Kimia;
12. Erika Noviana, Nugraha Bramanthio dan Rangga Nanda Putra atas kerja sama, bantuan, semangat, dukungan dan segala hal luar biasa yang telah diberikan;
13. Bulubabi Pangsit atas bantuan, kebersamaan dan semangatnya selama ini;
14. Diska Indah Alista atas bimbingan, bantuan, semangat, arahan, motivasi dan segalanya;
15. Sobat polimer dan anggota grup OTW atas kebersamaan, semangat dan segala hal barunya semoga akan selalu ada *season-season* selanjutnya;
16. Karla, Nenti, Lulu, Dwi, Tina dan Ditha atas bantuan, motivasi, semangat, dan dukungan yang diberikan;
17. Keluarga besar kimia 2018, 2019, 2020, 2021, dan 2022;
18. Almamater tercinta dan seluruh pihak terkait yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Semoga seluruh kebaikan yang diberikan kepada penulis mendapat pahala dan ridho dari Allah SWT. Penulis memohon maaf kepada semua pihak apabila skripsi ini masih terdapat kesalahan dan kurang dari kata sempurna. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 28 Juli 2023

Penulis,

Selvia Anggraini Hasan

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Biodiesel.....	5
2.2 Reaksi Transesterifikasi	6
2.3 Minyak Kelapa Sawit.....	7
2.4 Katalis	8
2.5 Zeolit	10
2.5.1 Zeolit Alam	11
2.5.2 Zeolit Sintetik.....	11
2.6 Zeolit-A.....	12
2.6.1 Silika Sekam Padi	14
2.6.2 <i>Aluminium Foil Food Grade</i>	15
2.7 Karakterisasi Zeolit-A.....	16
2.7.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	16
2.7.2 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	18
2.7.3 <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	20
2.7.4 <i>Brunauer-Emmett-Teller (BET)</i>	21
2.8 Analisis Biodiesel	23
2.8.1 Analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)</i> ..	23
2.8.2 Titik Nyala (<i>Flash Point</i>).....	23
2.8.3 Densitas	24
2.8.4 Viskositas	25
2.9 <i>Response Surface Methodology (RSM)</i>	25
2.10 <i>Analysis of Variance (ANOVA)</i>	26

III. METODE PENELITIAN	28
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.2 Alat dan Bahan	28
3.3 Prosedur Kerja.....	29
3.3.1 Preparasi dan Ekstraksi Silika Sekam Padi.....	29
3.3.2 Sintesis Zeolit-A	29
3.3.3 Karakterisasi Katalis Zeolit-A.....	30
3.3.3.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	30
3.3.3.2 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	31
3.3.3.3 <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	31
3.3.3.4 <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET).....	32
3.3.4 Optimasi Kondisi Reaksi Transesterifikasi menggunakan RSM	32
3.3.5 Analisis Biodiesel	34
3.3.5.1 Analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....	34
3.3.5.2 Titik Nyala (<i>Flash Point</i>).....	35
3.3.5.3 Densitas	36
3.3.5.4 Viskositas	36
VI. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Pengantar.....	37
4.2 Preparasi dan Ekstraksi Silika Sekam Padi.....	37
4.3 Sintesis Zeolit-A	39
4.4 Karakterisasi Katalis Zeolit-A.....	41
4.4.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	41
4.4.2 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	43
4.4.3 <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	44
4.4.4 <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET)	46
4.5 Optimasi Kondisi Reaksi Transesterifikasi menggunakan RSM.....	47
4.5.1 Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dengan Zeolit A	47
4.5.2 Analisis Statistik	48
4.5.3 Interaksi Kondisi Reaksi Transesterifikasi terhadap Hasil Biodiesel.....	51
4.5.4 Penentuan Kondisi Optimum dan Validasi Model.....	53
4.6 Analisis Biodiesel	54
4.6.1 Analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)..	54
4.6.2 Uji Parameter Fisik Biodiesel	55
V. SIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Simpulan	57
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat dari biodiesel.....	6
2. Kandungan asam lemak dalam minyak kelapa sawit.....	8
3. Perbandingan antara katalis heterogen dan homogen	9
4. Zeolit sintetis yang telah dikembangkan	12
5. Rentang dan level untuk CCD	32
6. <i>Design of Experiment</i> (DOE).....	33
7. Data 2θ zeolit-A standar IZA dan hasil sintesis.....	42
8. Rentang distribusi ukuran partikel zeolit-A	45
9. Hasil Karakterisasi BET zeolit-A.....	46
10. Hasil uji transesterifikasi.....	48
11. Hasil ANOVA.....	50
12. Kriteria optimasi reaksi transesterifikasi.....	53
13. Hasil validasi model pada kondisi optimum	54
14. Identifikasi senyawa yang terdapat dalam hasil tranesterifikasi	55
15. Hasil uji parameter fisik biodiesel	56
16. Hasil sintesis zeolit-A	69
17. Persentil volume standar dan rata rata-rata diameter partikel	69
18. Syarat baku mutu biodiesel SNI 7182:2015.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Reaksi transesterifikasi.	7
2. Mekanisme transesterifikasi menggunakan katalis bifungsional asam-basa heterogen nanopori yang direkayasa (Sharma <i>et al.</i> , 2018).	9
3. Kerangka dari zeolit.	10
4. <i>Framework</i> dari jenis LTA.	13
5. Difraksi sinar-X.	17
6. Pola XRD zeolit-A hasil sintesis dan IZA (Herliana <i>et al.</i> , 2021).	18
7. Diagram skematik alat SEM.	19
8. Mikrograf zeolit-A dengan variasi waktu kristalisasi (a) 48 jam, (b) 72 jam, dan (c) 96 jam (Simanjuntak <i>et al.</i> , 2021).	20
9. Skema dari instrumen BET.	22
10. Sekam padi bersih dan kering.	38
11. (a) Sekam padi setelah diekstraksi dan (b) sol silika.	38
12. Ekstraksi silika sekam padi.	39
13. Sintesis zeolit-A (a) larutan natrium silikat, dan (b) larutan alumino.	40
14. Zeolit-A yang telah dikalsinasi.	40
15. Perbandingan difraktogram zeolit-A hasil sintesis dan standar IZA.	42
16. Hasil analisis kualitatif zeolit-A menggunakan aplikasi Match!.	43
17. Mikrograf zeolit-A (a) hasil sintesis pada penelitian ini dan (b) hasil sintesis oleh Simanjuntak <i>et al.</i> (2021).	44
18. Grafik hasil karakterisasi PSA.	45
19. Pemisahan produk transesterifikasi pada kondisi (a) memiliki sisa minyak dan (b) terkonversi 100%.	47
20. (a) Plot perbandingan antara hasil percobaan dan prediksi dan (b)	51
21. Plot 3D menggambarkan efek interaksi antara (a) jumlah katalis dan.	52
22. Kromatogram biodiesel hasil transesterifikasi.	55

23. Mikrograf zeolit-A dengan variasi perbesaran (a) 1.000x ,(b) 5.000x, (c) 10.000x, dan (d) 15.000x..... 75

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman dan kebutuhan manusia yang semakin pesat seiring dengan meningkatnya penggunaan akan energi. Sebagian besar sumber energi berasal dari bahan bakar fosil, dimana diketahui bahwa bahan bakar fosil semakin hari kian menipis ketersediaannya di alam. Kesadaran akan hal ini, menyebabkan pengembangan serta pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) terus ditingkatkan. EBT berasal dari sumber-sumber yang dapat diperbaharui seperti tenaga air, matahari, angin maupun dari sumber yang dapat diproduksi secara berkelanjutan seperti biodiesel (Economic Cooperation, 2010).

Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional menetapkan target EBT pada tahun 2025 mencapai 23%, serta pada tahun 2050 minimal mencapai 31%. Kebijakan tersebut dimaksudkan untuk mengurangi penggunaan sumber energi dari fosil dan meningkatkan pemanfaatan EBT dengan tetap menjaga ketahanan pangan. Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan mengganti bahan bakar minyak menggunakan energi alternatif seperti biodiesel.

Biodiesel adalah salah satu bahan bakar alternatif yang berasal dari sumber yang terbarukan. Biodiesel secara umum didefinisikan sebagai ester monoalkil dari minyak tanaman dan lemak hewan serta turunannya yang mempunyai kemungkinan sebagai pengganti bahan bakar diesel (Sirvastava and Prasad, 2000).

Biodiesel dapat dihasilkan dari proses transesterifikasi minyak nabati dan alkohol dengan menambahkan suatu katalis untuk mempercepat laju reaksi.

Berbagai jenis minyak nabati telah diteliti untuk menghasilkan biodiesel baik golongan minyak nabati pangan (*edible oil*) maupun non pangan (*non edible oil*). Golongan *edible oil* adalah minyak yang berasal dari tumbuhan seperti jenis biji-bijian, kacang-kacangan dan buah-buahan yang dapat dikonsumsi oleh manusia misalnya minyak bunga matahari (Thirumarimurugan *et al.*, 2012), kelapa sawit (Pandiangan *et al.*, 2017), jagung (Veljković *et al.*, 2018), kelapa (Qiu *et al.*, 2016), dan lainnya. Golongan *non edible oil* adalah minyak yang dihasilkan dari tumbuhan, petroleum dan lemak hewani yang tidak dapat dikonsumsi oleh manusia karena mengandung zat beracun misalnya minyak biji karet (Pandiangan *et al.*, 2017), kemiri (Xu and Hanna, 2009), biji tembakau (Usta *et al.*, 2011), salmon (El-Mashad *et al.*, 2008) dan lainnya. Pada penelitian ini akan digunakan minyak kelapa sawit yang telah umum dilaporkan sebagai bahan baku produksi biodiesel. Hal tersebut dikarenakan minyak kelapa sawit telah diidentifikasi sebagai bahan berkelanjutan, terbarukan, kandungan energi tinggi, dan keamanan energi yang hampir mirip dengan petrodiesel (Demirbas, 2005). Selain itu, ketersediaan minyak kelapa sawit yang melimpah memiliki peluang untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel.

Pada proses transesterifikasi, kedua reaktan yang terlibat tidak reaktif satu sama lain. Hal ini menyebabkan pada prosesnya, katalis sangat diperlukan untuk mempercepat laju reaksi. Dua jenis katalis yang umum digunakan yaitu katalis homogen dan heterogen. Katalis heterogen lebih menguntungkan dibandingkan katalis homogen. Beberapa keuntungannya yaitu mudah dipisahkan dari produknya melalui filtrasi, dapat digunakan kembali, tidak menghasilkan sabun jika bereaksi dengan *Free Fatty Acid* (FFA), dan tidak bersifat korosif (Guan *et al.*, 2009). Katalis homogen memiliki kinerja yang baik, namun terdapat beberapa kelemahan yaitu sulit dipisahkan, dapat bereaksi dengan FFA membentuk sabun dan menurunkan hasil biodiesel (Nurhayati dkk., 2014).

Katalis heterogen untuk produksi biodiesel dapat berasal dari berbagai padatan kimia misalnya kelompok zeolit seperti zeolit alam maupun sintetik. Salah satu contoh zeolit sintetik yang telah dikembangkan yaitu zeolit-A. Zeolit-A bila dibandingkan dengan zeolit sintetik lainnya, lebih banyak digunakan dikarenakan pembentukan fasa kristal lebih mudah, memiliki kemurnian lebih tinggi dibandingkan zeolit alam serta memiliki struktur kristal dan ukuran partikel yang seragam (Georgiev *et al.*, 2009). Zeolit-A dapat disintesis dari bahan baku silika sekam padi dan *aluminium foil food grade* dengan metode hidrotermal (Simanjuntak *et al.*, 2021). Pada penelitian ini, karakterisasi zeolit-A dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *Particle Size Analyzer (PSA)*, dan *Brunauer-Emmett-Teller (BET)*. Proses transesterifikasi akan diidentifikasi variabel kinetis yang dapat mempengaruhi hasil produksi biodiesel berupa nisbah reaktan, waktu reaksi dan jumlah katalis. Produk yang dihasilkan dianalisis dengan metode *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*.

Umumnya, penentuan kondisi optimum reaksi transesterifikasi dilakukan secara konvensional dengan variasi satu variabel pada satu waktu. Metode tersebut memiliki kekurangan dimana tidak menunjukkan efek interaktif diantara variabel-variabel reaksi dan efek keseluruhan dari variabel (Bas and Boyaci 2007). Kekurangan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan teknik statistik multi variabel. Salah satu teknik multi variabel yang paling umum digunakan yaitu *Response Surface Methodology (RSM)*.

RSM adalah teknik statistik yang menggunakan analisis regresi dan korelasi berganda sebagai alat untuk menilai efek dari dua atau lebih faktor independen pada variabel terikat. Keuntungan utama dari metode ini yaitu pengurangan jumlah percobaan yang diperlukan sehingga didapatkan cukup informasi untuk hasil yang dapat diterima secara statistik. Salah satu prinsip di antara teknik yang dikembangkan di RSM adalah *Analysis of Variance (ANOVA)*. ANOVA merupakan sebuah metode statistik untuk memeriksa hubungan antara dua atau lebih data dengan melakukan analisis varian. Berdasarkan uraian tersebut, maka

pada penelitian ini akan dikaji penggunaan RSM untuk optimasi produk reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menggunakan katalis zeolit-A dengan fokus pengamatan pada pengaruh nisbah reaktan, waktu reaksi dan jumlah katalis.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh katalis zeolit-A dan mengkarakterisasinya dengan menggunakan XRD, SEM, PSA, dan BET.
2. Memperoleh kondisi optimum dengan merancang *Design of Experiment* (DOE) menggunakan *3 level factorial design* pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol menggunakan zeolit-A sebagai katalis.
3. Memperoleh plot tiga dimensi (3D) menggunakan RSM berdasarkan teknik pemodelan regresi.
4. Mengetahui karakteristik biodiesel yang dihasilkan dengan analisis GC-MS dan uji parameter fisik.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan informasi mengenai kondisi optimum untuk produksi biodiesel menggunakan RSM.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel

Biodiesel berkembang dalam beberapa dekade terakhir karena diketahui secara efektif dapat mengurangi ketergantungan pada impor minyak fosil di sektor transportasi. Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang berasal dari reaksi minyak nabati dan alkohol dengan atau tanpa adanya katalis. Biodiesel memiliki beberapa keunggulan yaitu tidak beracun, ramah lingkungan, kompatibilitas dengan mesin diesel yang ada tanpa modifikasi mesin yang ekstensif, biodiesel memiliki kandungan aromatik dan sulfur yang rendah dan merupakan sebagian besar sumber terbarukan yang saat ini tersedia di seluruh dunia (Demirbas, 2008).

Biodiesel merupakan cairan kuning bening yang memiliki viskositas mirip dengan minyak bumi. Biodiesel tidak mudah terbakar, tidak mudah meledak, dengan titik nyala 423 K, *biodegradable*, tidak beracun, serta secara signifikan mengurangi racun dan emisi lainnya ketika dibakar sebagai bahan bakar (Demirbas, 2009). Adapun sifat lain dari biodiesel ditunjukkan pada Tabel 1.

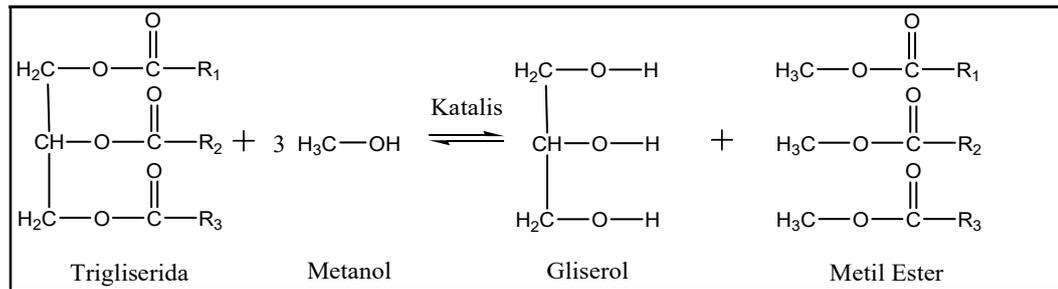
Tabel 1. Sifat dari biodiesel

Sifat	Keterangan
Viskositas kinematik pada 313 K (mm ² /s)	3,3-5,2
Densitas pada 288 K (kg/m ³)	860-894
Titik didih (K)	>475
Titik nyala (K)	420-450
Distilasi (K)	470-600
Tekanan uap pada 295 K (mm Hg)	<5
Kelarutan dalam air	Tidak larut dalam air
Penampilan fisik	Cairan bening
Bau	Bau apek
Biodegradabilitas	Lebih <i>biodegradable</i> daripada diesel minyak bumi
Reaktivitas	Stabil, tetapi hindari dari oksidator kuat

Sumber: Demirbas, 2009.

2.2 Reaksi Transesterifikasi

Reaksi yang umum digunakan untuk untuk produksi biodiesel adalah reaksi transesterifikasi. Transesterifikasi adalah reaksi pembentukan ester dan gliserol dari lemak atau minyak dengan alkohol seperti metanol atau etanol, dan merupakan reaksi kesetimbangan dimana umumnya dilakukan penambahan katalis. Katalis biasanya digunakan untuk meningkatkan laju transesterifikasi dan hasil produk karena dapat memecahkan masalah sifat dua fasa antara trigliserida dan alkohol (Abbaszaadeh *et al.*, 2012). Metode ini banyak digunakan untuk mengurangi viskositas dan meningkatkan sifat dari bahan bakar minyak nabati (Mathiyazhagan and Ganapathi, 2011). Selain itu juga, metode ini dapat menghilangkan kandungan trigliserida dan menurunkan titik didih, titik nyala serta titik beku. Secara umum reaksi transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi transesterifikasi.

Proses transesterifikasi secara rinci terbagi atas tiga tahap yakni:

1. Asam lemak trigliserida terurai menjadi asam lemak digliserida dan asam lemak mono-alkil ester.
2. Asam lemak digliserida terurai kembali menjadi asam lemak monogliserida dan asam lemak mono-alkil ester.
3. Asam lemak monogliserida terurai menjadi asam lemak mono-alkil ester dan gliserol.

2.3 Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit merupakan senyawa yang tidak larut dalam air dan komponen penyusun utamanya yaitu trigliserida dan non trigliserida (Arinanda, 2019). Minyak kelapa sawit adalah bahan baku biodiesel yang paling prospektif dibandingkan dengan minyak nabati lainnya. Beberapa keuntungan minyak kelapa sawit yaitu kandungan minyaknya yang tinggi, sumber daya yang melimpah, menyumbang sepertiga dari total produksi minyak nabati di seluruh dunia, kapasitas produksi yang tinggi dan membutuhkan luas perkebunan paling sedikit dibandingkan dengan tanaman penghasil minyak lainnya. Minyak kelapa sawit mengandung asam palmitat dan oleat dalam jumlah tinggi yang telah dikenal sebagai sumber yang paling cocok untuk produksi biodiesel (Zahan and

Kano, 2018). Adapun persentase kandungan asam palmitat, oleat serta asam lemak lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan asam lemak dalam minyak kelapa sawit

Asam Lemak	Kandungan (%)
Asam palmitat, C-16:0	42,8
Asam oleat, C-18:1	40,5
Asam laurat, C-12:0	0,1
Asam miristat, C-14:0	1,0
Asam stearat, C-18:0	4,5
Asam linoleat, C-18:2	10,1
Asam linolenat, C-18:3	0,2
Lainnya	0,8

Sumber: Kansedo *et al.*, 2009.

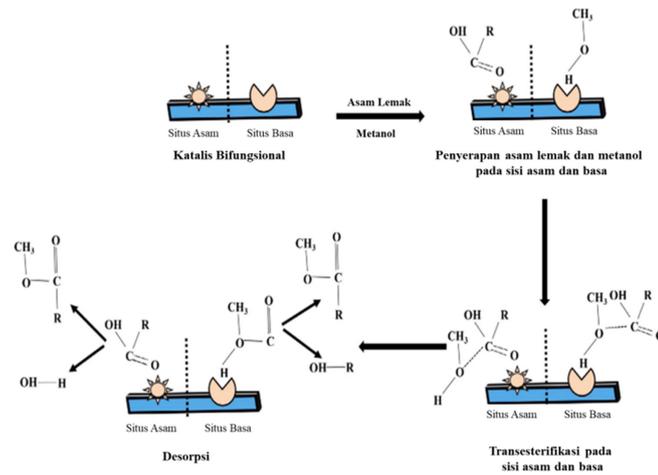
2.4 Katalis

Katalis adalah zat yang mampu meningkatkan laju reaksi karena memiliki kemampuan menurunkan energi aktivasi reaksi reaktan untuk menjadi produk. Menurut Deutschmann *et al.* (2009) katalis mempunyai tiga fungsi utama yaitu:

1. Aktivitas untuk memacu laju reaksi.
2. Selektivitas untuk mengarahkan suatu reaksi menghasilkan produk tertentu.
3. Stabilitas untuk menahan hal-hal yang dapat mengakibatkan terjadinya deaktivasi katalis.

Secara umum, katalis dikelompokkan dalam dua kelompok besar yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang mempunyai fasa sama dengan reaktan dan produknya. Katalis homogen mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan katalis heterogen yaitu konversi reaksi yang dihasilkan lebih besar serta tidak membutuhkan suhu dan tekanan yang tinggi saat reaksi berlangsung (Setyawardani, 2012). Terlepas dari keuntungan tersebut, terdapat beberapa kelemahan yaitu sulit dipisahkan, dapat bereaksi dengan FFA membentuk sabun dan menurunkan hasil biodiesel (Nurhayati *et al.*, 2014).

Katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fasa berbeda dengan reaktan dan produknya. Katalis heterogen banyak digunakan di berbagai industri karena mudah dipisahkan, biaya yang lebih murah, dan dapat digunakan kembali (Hidayati *et al.*, 2017). Berdasarkan bahan aktifnya, katalis heterogen dibagi menjadi beberapa jenis yaitu logam, oksida semi konduktor, sulfida dan karbida, oksida insulator serta asam (Widi, 2018). Mekanisme transesterifikasi yang disarankan melalui katalis bifungsional dapat dilihat pada Gambar 2, dimana menggambarkan penyerapan asam lemak dan metanol berturut-turut pada permukaan katalis heterogen berpori nano, menghasilkan biodiesel dan gliserol sebagai produk sampingan. Secara garis besar perbandingan antara katalis heterogen dan homogen untuk menghasilkan biodiesel dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 2. Mekanisme transesterifikasi menggunakan katalis bifungsional asam-basa heterogen nanopori yang direkayasa (Sharma *et al.*, 2018).

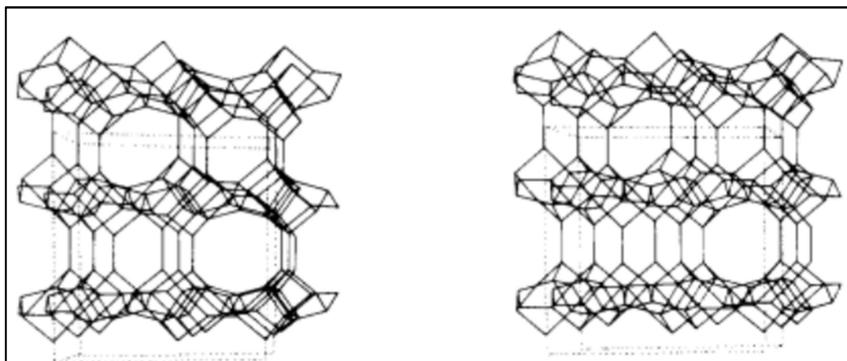
Tabel 3. Perbandingan antara katalis heterogen dan homogen

Variabel	Katalis homogen	Katalis heterogen
Laju reaksi dan hasil ester	Laju reaksi cepat dan hasil konversi tinggi	Konversi sedang
Proses pemurnian	Sulit	Mudah
Penggunaan kembali katalis	Tidak memungkinkan	Memungkinkan
Biaya	Relatif mahal	Realtif murah

Sumber: Juan *et al.*, 2011.

2.5 Zeolit

Zeolit adalah material kristalin berpori berbasis aluminosilikat dengan Al_2O_3 dan SiO_2 yang saling terhubung melalui sudut-sudut struktur kerangka tiga dimensi tetrahedral (Xu *et al.*, 2007). Zeolit memiliki struktur kerangka yang membungkus rongga yang saling berhubungan yang ditempati oleh kation logam besar (ion bermuatan positif) dan molekul air. Struktur kerangka zeolit dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kerangka dari zeolit.

Beberapa sifat dan karakteristik dari zeolit sebagai berikut:

1. Katalisator

Zeolit dapat digunakan sebagai katalisator karena memiliki pori-pori yang besar dengan permukaan yang luas dan memiliki sisi aktif dengan adanya rongga intrakristalin zeolit yang digunakan sebagai katalis. Sebelum digunakan, zeolit perlu diaktifkan guna mempertinggi daya kerjanya. Pengaktifan zeolit dapat dilakukan dengan pemanasan ataupun pengasaman.

2. Penukar ion

Sifat zeolit sebagai penukar ion tergantung pada sifat kation, suhu dan jenis anion. Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit dapat bergerak bebas sehingga penukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya.

3. Adsorben

Zeolit dapat menyerap gas atau cairan apabila dipanaskan pada suhu 200-400 °C. Pemanasan tersebut mengakibatkan kandungan air pada zeolit menguap.

2.5.1 Zeolit Alam

Zeolit alam terbentuk secara alami karena adanya proses kimia dan fisika dari bebatuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Zeolit alam memiliki struktur yang tidak selalu sama, strukturnya bergantung pada kondisi pembentukannya. Hal tersebut menyebabkan sebelum digunakan perlu dilakukannya proses aktivasi. Proses aktivasi tersebut bertujuan untuk menghilangkan pengotor dan meningkatkan sifat khusus zeolit yang diinginkan.

Lestari (2010) melaporkan zeolit alam dibedakan menjadi dua kelompok yaitu sebagai berikut:

1. Zeolit di antara lapisan batuan seperti kalsit, kwarsa, klorit, renit, fluorit dan mineral sulfida.
2. Zeolit berupa batuan seperti analsim, klipnotilotit, modenit, erionit, laumontit, filipsit, heulandit dan kbasit.

2.5.2 Zeolit Sintetik

Zeolit sintetik dibuat sedemikian rupa agar didapatkan material dan karakteristik yang lebih baik, guna mengatasi kelemahan yang dimiliki oleh zeolit alam. Pada pengembangannya, ukuran pori-pori zeolit sintetik diatur sehingga lebih spesifik pemanfaatannya (Saraswati, 2016). Produksi zeolit sintetik menggunakan material yang terdiri dari silika dan alumina dengan rasio yang berbeda untuk menyesuaikan zeolit target (Zaarour *et al.*, 2014). Modifikasi zeolit sintetik dapat dilakukan untuk memperoleh karakteristik yang sesuai menggunakan beberapa

metode seperti kalsinasi dengan tempertatur tinggi (Hidayati *et al.*, 2017), penambahan cetakan organik (Abbasian and Taghizadeh, 2014), pertukaran ion (Wang *et al.*, 2014), dan modifikasi kerangka permukaan zeolit (Xu *et al.*, 2007).

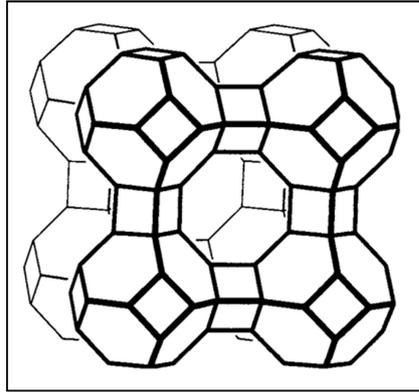
Tabel 4. Zeolit sintetik yang telah dikembangkan

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

Sumber: Georgiev *et al.*, 2009.

2.6 Zeolit-A

Zeolit-A dengan rumus kimia $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$ banyak dimanfaatkan untuk katalisis reaksi hidrokarbon, pemisahan komponen udara, pemisahan dan pemulihan hidrokarbon parafin normal, pengeringan pendingin, pengambilan sampel udara pada ketinggian, memulihkan ion radioaktif dari larutan limbah radioaktif, pembuangan polutan atmosfer, serta menghilangkan karbon dioksida serta sulfur dari gas alam (Breck, 1984). Zeolit-A merupakan zeolit yang termasuk ke dalam *Framework Linde Type A* (LTA) yang mempunyai struktur pori 3 dimensi dengan pori-pori tegak lurus satu dengan yang lainnya pada bidang x, y, dan z. *Framework* jenis LTA dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Framework* dari jenis LTA.

Zeolit-A dapat terbentuk melalui tiga tahap, yaitu:

1. Fasa padatan amorf, tahap dimana larutan yang dibuat dari campuran reaktan masih bersifat sangat jenuh.
2. Fasa larutan, tahap dimana reaktan-reaktan larut dalam mineralizer sehingga reaktan-reaktan dapat bereaksi dan membentuk *framework* zeolit sesuai dengan perbandingan Si/Al reaktan.
3. Fasa kristal, tahap dimana produk zeolit terbentuk karena pengaruh temperatur.

Sintesis zeolit-A dapat dilakukan dengan metode hidrotermal. Metode ini dilakukan menggunakan pelarut air dan karbondioksida pada temperatur dan tekanan diatas titik didihnya sehingga menghasilkan keadaan superkritis.

Kelebihan dari metode hidrotermal yaitu dapat menghasilkan partikel dengan kristalinitas yang tinggi, proses yang sederhana, biaya pengolahan murah dan dapat dilakukan pada suhu rendah. Simanjuntak *et al.* (2021) melaporkan bahwa sintesis zeolit-A dapat menggunakan silika sekam padi dan *aluminium foil food grade*.

2.6.1 Silika Sekam Padi

Sekam padi adalah cangkang keras yang menutupi benih padi, yang menyediakan nutrisi dan akumulasi metabolit selama pengembangan biji-bijian, dan melindungi benih padi dari kerusakan fisik dan serangan patogen, serangga, dan hama.

Komponen utama dari sekam padi yaitu selulosa (38,3%), hemiselulosa (31,6%), lignin (11,8%) dan silika (18,3%) (Batteggazzore *et al.*, 2014). Adapun beberapa aplikasi sekam padi baik dari bidang industri dan domestik:

1. Bahan bakar industri

Sekam padi dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam kapasitas rendah dan juga digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk *household energy* (Rozainee *et al.*, 2008).

2. Persiapan karbon aktif

Sekam padi memiliki kandungan selulosa dan lignin yang cukup besar, oleh karena itu digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan karbon aktif. Karbon aktif adalah adsorben yang efektif karena struktur kompleksnya mikropori (Assureira, 2002).

3. Serat makanan hewan peliharaan

Sekam padi sebagai sumber serat yang digunakan untuk *filler ingredient* makanan hewan peliharaan yang cukup murah (Chungsangunsit *et al.*, 2009)

4. Substrat untuk senyawa silika dan silikon

Sekam padi mengandung silika sebanyak 20% yang merupakan bahan baku yang baik untuk membuat senyawa silikon seperti silikon nitrida, zeolit, silika, silikon murni, dan lainnya.

5. Lainnya

Sekam padi digunakan untuk produksi *xylitol*, furfural, etanol, asam asetat, dan lainnya. Digunakan sebagai pembersih dan agen pemoles di industri logam dan mesin. Selain itu juga digunakan sebagai bahan bangunan dan juga digunakan sebagai bahan baku industri seperti bahan pengisi untuk membuat papan panel.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan silika sekam padi yaitu metode sol-gel. Sol-gel adalah suatu metode untuk menghasilkan partikel

kecil di kimia bahan. Metode sol-gel memiliki beberapa keuntungan seperti suhu yang digunakan relatif rendah, waktu proses yang singkat dan menghasilkan komposit yang memiliki kemurnian yang lebih tinggi dari metode lainnya. Langkah awal dari proses ini adalah mengubah monomer atau bahan awal menjadi sol, yaitu larutan koloid yang merupakan prekursor untuk pembentukan gel lebih lanjut (Kumar *et al.*, 2015). Proses sol-gel diawali dengan pelarutan bahan baku dalam air dimana substrat akan mengalami hidrolisis. Kemudian, akan terkondensasi mengakibatkan sol berubah fasa menjadi gel. Lalu, gel yang terbentuk dituangkan dan dikeringkan sehingga didapatkan produk berbentuk padat.

2.6.2 Aluminium Foil Food Grade

Aluminium digunakan secara luas dalam bentuk *foil* untuk kemasan dengan ketebalan lebih dari 6 hingga sekitar 150 mikron (Kerry, 2012). *Aluminium foil* umumnya digunakan untuk mengemas, menyimpan, dan memasak berbagai makanan. Pada penelitian ini, *aluminium foil* dijadikan sebagai salah satu bahan baku pembuatan zeolit-A dimana diketahui kandungan aluminium dalam *aluminium foil* mencapai 99% (Nugroho dan Redjeki, 2015). Aluminium adalah logam putih keperakan yang termasuk dalam kelompok unsur kimia boron dan memiliki nomor atom 13. Sejumlah karakteristik penting yang dimiliki aluminium (Kerry, 2012) sebagai berikut:

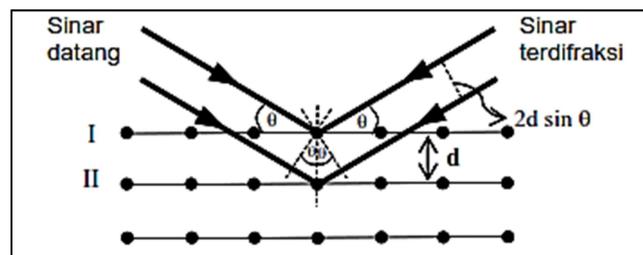
1. Aluminium memiliki sepertiga dari kepadatan baja, menjadikannya logam yang ringan.
2. Bentuk paduannya kuat, sementara aluminium murni memiliki kekuatan luluh 7-11 MPa, paduan aluminium memiliki kekuatan luluh mulai dari 200 hingga 600 MPa.
3. Tahan terhadap korosi karena pembentukan lapisan tipis aluminium oksida pada permukaan logam yang mencegah oksidasi lebih lanjut.
4. Mudah dibentuk pada suhu normal.
5. Non-magnetik.
6. Konduktor panas dan listrik yang baik.

2.7 Karakterisasi Zeolit-A

Karakterisasi katalis zeolit-A dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari katalis yang dihasilkan. Fasa kristal dan amorf secara kualitatif dan kuantitatif, persen kristalinitas, dan struktur kristal dapat dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Morfologi permukaan dapat dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Ukuran dan distribusi partikel dapat dikarakterisasi menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA). Luas permukaan, volume total pori, serta jari-jari pori dapat dikarakterisasi dengan menggunakan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET).

2.7.1 *X-Ray Diffraction* (XRD)

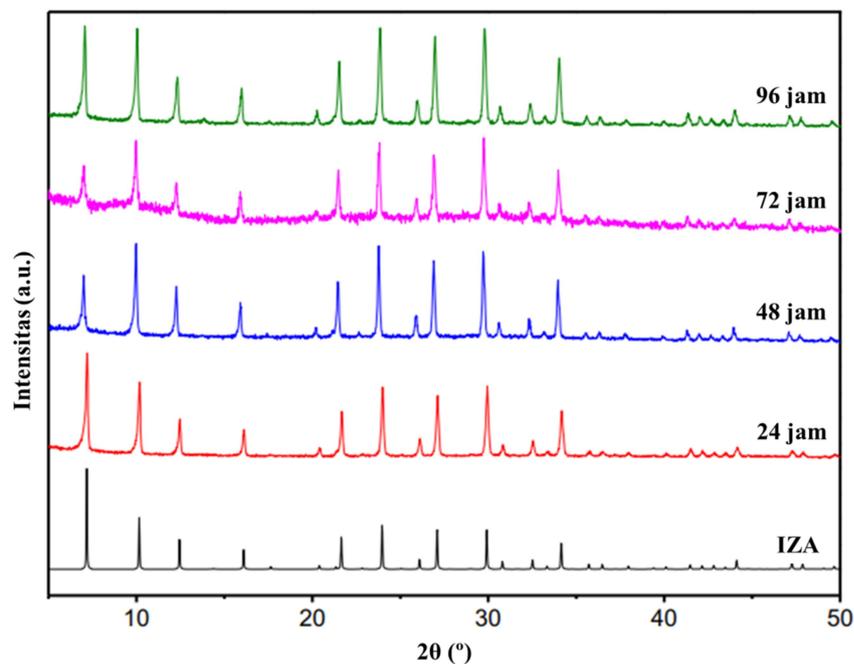
XRD merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengkarakterisasi katalis. Hal tersebut dikarenakan katalis umumnya berbentuk padatan kristal seperti zeolit, oksida logam, dan logam penyangga. XRD dapat mengidentifikasi suatu senyawa melalui pengamatan pola pembiasan cahaya berdasarkan berkas cahaya yang dibiaskan oleh suatu material yang mempunyai susunan atom dalam kisi kristalnya. Prinsip dasar XRD yaitu mendifraksi cahaya melalui celah kristal. Pola difraksi dinyatakan dengan besar sudut-sudut yang terbentuk sebagai hasil dari difraksi berkas cahaya oleh kristal pada material. Nilai sudut tersebut dinyatakan dalam 2θ , dimana θ merepresentasikan sudut datang cahaya, sedangkan nilai 2θ merupakan besar sudut datang dengan sudut difraksi yang terdeteksi oleh detektor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Difraksi sinar-X.

Difraksi sinar-X dapat memberikan informasi mengenai struktur sampel, termasuk tentang keadaan amorf dan kristalin. Pola hamburan sinar-X juga dapat memberikan informasi tentang konfigurasi rantai dalam kristal, perkiraan ukuran kristal, serta perbandingan daerah kristalin dengan amorf dalam sampel polimer.

Sintesis zeolit-A dari silika sekam padi dan *aluminum foil* telah dilakukan oleh Herliana *et al.* (2021). Zeolit-A disintesis dengan variasi waktu aging filtrat yaitu 24, 48, 72, dan 96 jam. Zeolit-A yang dihasilkan dianalisis menggunakan XRD yang bertujuan untuk mengetahui jenis mineral dan kristalinitas dari zeolit-A. Pola difraktogram yang didapatkan menunjukkan tidak adanya banyak perbedaan yang signifikan antara zeolit-A hasil sintesis dan zeolit-A dari *International Zeolite Association (IZA)* yang memiliki puncak pada sudut 2θ yang berdekatan. Hasil XRD menunjukkan puncak signifikan pada sudut 2θ $7,18^\circ$; $10,16^\circ$; $12,44^\circ$; $16,10^\circ$; $21,64^\circ$; $23,96^\circ$; $27,10^\circ$; $29,92^\circ$ dan $34,14^\circ$ yang menegaskan pembentukan struktur zeolit-A. Empat produk hasil sintesis memiliki kristalinitas yang baik yang ditunjukkan dengan adanya puncak-puncak tajam dengan tinggi intensitas di daerah 2θ sekitar 7° - 34° . Berdasarkan pengamatan keempat pola difraksi, dapat dikatakan bahwa perlakuan variasi waktu *aging* larutan natrium silikat tidak memiliki efek yang signifikan pada pergeseran puncak pada sudut 2θ yang dihasilkan, tetapi mempengaruhi perubahan intensitas puncak pada sudut 2θ tertentu. Pola difraktogram yang didapatkan dari hasil sintesis zeolit-A dengan variasi waktu *aging* dan standar IZA dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pola XRD zeolit-A hasil sintesis dan IZA (Herliana *et al.*, 2021).

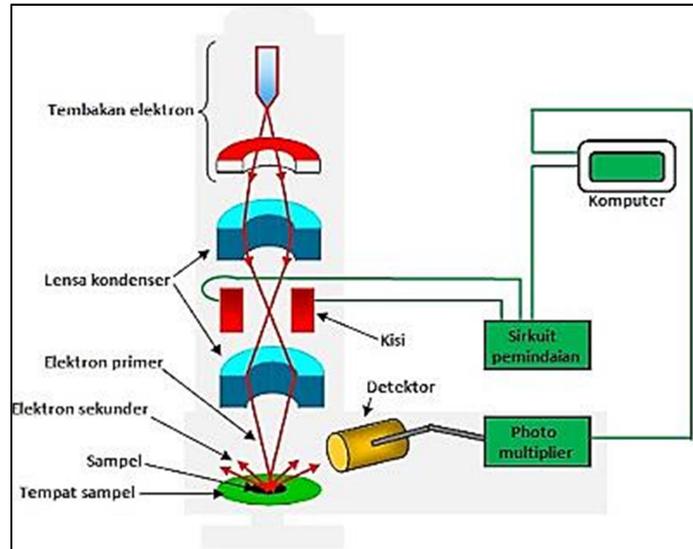
2.7.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM merupakan karakterisasi sampel dengan memindainya menggunakan berkas elektron untuk menghasilkan gambar yang diperbesar. Mikroskop elektron dilakukan dengan pembesaran tinggi untuk menghasilkan gambar beresolusi tinggi dan secara tepat mengukur fitur dan objek yang sangat kecil.

Pengoperasian SEM dilakukan dalam keadaan vakum (10^{-6} bar) sehingga elektron hanya berinteraksi dengan sampel yang diteliti. Sinyal yang berasal dari interaksi sampel elektron menunjukkan informasi tentang sampel termasuk permukaan morfologi. Syarat agar SEM dapat menghasilkan citra yang tajam adalah permukaan benda harus bersifat sebagai pemantul elektron atau dapat melepaskan elektron sekunder ketika ditembak dengan berkas elektron.

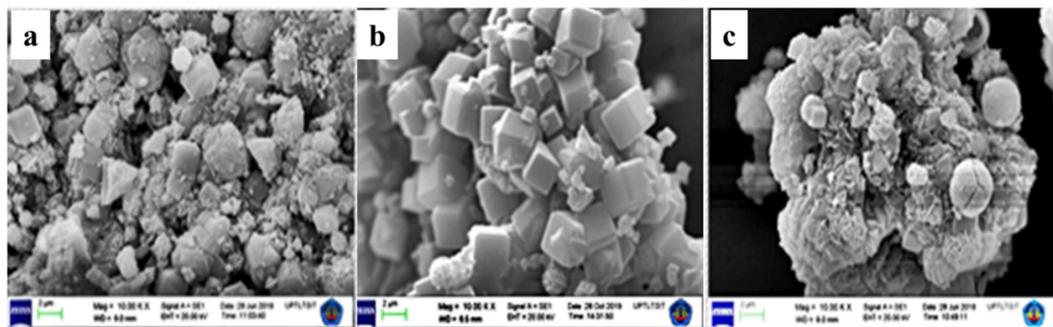
Prinsip kerja SEM yaitu menembakan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi. Mengakibatkan permukaan benda memantulkan kembali berkas

tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Kemudian, detektor mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tinggi. Diagram skema SEM dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram skematik alat SEM.

Simanjuntak *et al.* (2021) telah melaporkan hasil sintesis zeolit-A berbahan dasar silika sekam padi dan *food-grade aluminum foil* dengan metode hidrotermal. Sintesis zeolit-A dilakukan dengan variasi waktu kristalisasi 48, 72, dan 96 jam serta dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 8 jam. Morfologi permukaan sampel yang hasil karakterisasi menggunakan SEM dilaporkan bahwa waktu kristalisasi 48 jam tidak cukup untuk mengoptimalkan pembentukan zeolit-A. Pada sisi lain, perpanjangan waktu kristalisasi hingga 96 jam mengganggu struktur zeolit-A, yang mengarah pada pembentukan kembali fasa sodalit. Karakterisasi menggunakan SEM ini, menunjukkan bahwa proses kristalisasi selama 72 jam menghasilkan pembentukan kristal zeolit-A yang optimum. Morfologi permukaan zeolit-A hasil sintesis disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Mikrograf zeolit-A dengan variasi waktu kristalisasi (a) 48 jam, (b) 72 jam, dan (c) 96 jam (Simanjuntak *et al.*, 2021).

2.7.3 Particle Size Analyzer (PSA)

PSA adalah salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengkarakterisasi partikel sedimen berdasarkan difraksi sumber sinar laser oleh sampel yang dikarakterisasi. Alat analisis digunakan untuk menentukan distribusi ukuran serbuk, suspensi atau emulsi, berdasarkan difraksi cahaya. Prinsip kerja dari PSA yaitu ketika seberkas cahaya (laser) dihamburkan oleh sekelompok partikel, sudut hamburan cahaya berbanding terbalik dengan ukuran partikel, yaitu semakin kecil ukuran partikel, semakin besar sudut hamburan cahaya.

Pengukuran partikel dengan PSA umumnya menggunakan metode basah. Metode basah dinilai lebih menguntungkan dibandingkan metode kering ataupun metode ayakan dan analisis gambar, terutama pada sampel-sampel dalam orde nanometer dan submikron yang biasanya memiliki kecenderungan aglomerasi yang tinggi. Hal tersebut dikarenakan partikel didispersikan ke dalam media sehingga partikel tidak saling beraglomerasi. Sehingga, ukuran partikel yang terukur merupakan ukuran dari *single particle*. Adapun beberapa keunggulan dari penggunaan PSA untuk mengetahui ukuran partikel sebagai berikut:

1. Pengukuran partikel dengan menggunakan PSA lebih akurat jika dibandingkan dengan pengukuran partikel dengan alat lain seperti XRD ataupun SEM.

2. Hasil pengukuran dalam bentuk distribusi, sehingga dapat menggambarkan keseluruhan kondisi sampel
3. Rentang pengukuran dari 0,6 nm-7 nm.

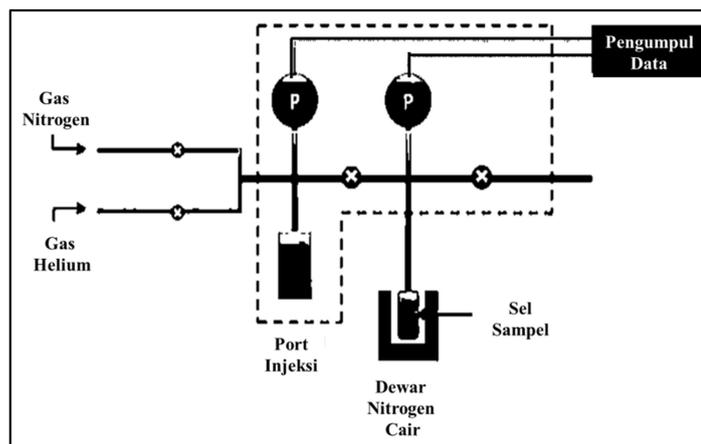
Data hasil karakterisasi PSA menunjukkan persentil volume standar pada 10, 50, dan 90, yang masing-masing dilambangkan sebagai d_{10} , d_{50} dan d_{90} , yang kemudian digunakan untuk menghitung lebar rentang distribusi (*span*). Lebar rentang distribusi dapat dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$span = \frac{d_{90}-d_{10}}{d_{50}} \quad (1)$$

(Sayehi *et al.*, 2022)

2.7.4 Brunauer-Emmett-Teller (BET)

BET termasuk dalam teknik karakterisasi fisik yang menyediakan analisis kuantitatif luas permukaan spesifik dan distribusi porositas bahan padat. Metode BET didasarkan pada adsorpsi dan desorpsi isotermis dari gas yang diserap (nitrogen). Dalam analisis luas permukaan BET, nitrogen biasanya digunakan karena ketersediaannya dalam kemurnian tinggi dan interaksinya yang kuat dengan sebagian besar padatan. Metode ini berlaku untuk berbagai matriks padat dari bubuk katalis hingga bahan monolitik. Skema dari instrumen BET dapat dilihat pada Gambar 9. Pengukuran BET hanya dapat digunakan untuk menentukan luas permukaan serbuk kering dan membutuhkan banyak waktu untuk terjadinya adsorpsi molekul gas.



Gambar 9. Skema dari instrumen BET.

Luas permukaan paling baik digambarkan sebagai luas permukaan luar dari benda padat termasuk permukaan yang disebabkan oleh pori-pori. Adsorpsi gas memberikan keuntungan tersendiri karena banyak model klasik untuk pengukuran dan karakterisasi partikel. Fisisorpsi umumnya lemah dan reversibel, oleh karena itu padatan harus didinginkan sehingga metode yang digunakan untuk memperkirakan cakupan monolayer dimana luas permukaan dapat dihitung. Area yang dicakup dapat dihitung dengan mempertimbangkan jumlah gas/uap yang digunakan untuk membentuk lapisan tunggal serta dimensi dan jumlah molekul. BET adalah metode yang paling umum digunakan untuk menentukan luas permukaan spesifik di berbagai area fisikokimia (Naderi, 2015). Luas permukaan spesifik dari sampel dapat dihitung menggunakan Persamaan 2. Luas permukaan spesifik didefinisikan sebagai luas permukaan berdasarkan massa, sedangkan luas permukaan mencakup semua permukaan luar dan dalam yang dapat diakses oleh gas (Gibson *et al.*, 2020).

$$\text{luas permukaan spesifik (m}^2/\text{g)} = \frac{\text{luas permukaan total sampel(m}^2\text{)}}{\text{massa sampel(g)}} \quad (2)$$

2.8 Analisis Biodiesel

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari biodiesel yang dihasilkan. Analisis yang dilakukan berupa komposisi biodiesel yang diperoleh dengan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) dan karakteristik parameter fisik seperti, titik nyala (*flash point*), densitas, dan viskositas.

2.8.1 Analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)

GC-MS merupakan metode gabungan dari kromatografi gas dan spektrometri massa. Kromatografi gas memiliki fungsi untuk memisahkan komponen-komponen sampel yang mudah menguap dan spektrometri massa sebagai detektor. Detektor ini akan memberikan informasi tentang bobot molekul dan fragmen molekul sesuai dengan struktur yang terdeteksi.

GC bekerja berdasarkan prinsip bahwa campuran akan terpisah menjadi zat individu ketika dipanaskan. Gas yang dipanaskan dibawa melalui kolom dengan gas inert (seperti helium). Saat zat yang dipisahkan muncul dari bukaan kolom, zat mengalir ke MS. Spektrometri massa mengidentifikasi senyawa berdasarkan massa molekul analit.

2.8.2 Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala (*Flash point*) adalah suhu terendah dari bahan bakar minyak, dimana saat dilakukannya pemeriksaan timbul nyala api sesaat pada permukaan minyak ketika didekatkan nyala api (Mahfud dkk., 2021). Titik nyala diperlukan untuk keamanan yang tepat dan penanganan bahan bakar diesel. Hal tersebut

berhubungan dengan pertimbangan keamanan dari penimbunan dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala yang disarankan untuk biodiesel yaitu minimal 100 °C berdasarkan SNI 7182:2015.

Tiga macam uji yang dapat dilakukan untuk menentukan titik nyala dari suatu bahan bakar, yaitu:

1. 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.
2. Alat uji cawan tertutup Pensky-Martens (ASTM D 92-80) digunakan untuk menentukan titik nyala minyak bakar, pelumas, dan suspensi padatan.
3. Alat uji cawan tertutup Abel digunakan untuk menentukan titik nyala minyak yang memiliki titik nyala antara -18 °C dan 7 °C.

2.8.3 Densitas

Densitas merupakan massa biodiesel per satuan volume pada suhu tertentu. Jika biodiesel memiliki densitas yang rendah maka kemampuan bahan bakar minyak tinggi (Mahfud *et al.*, 2021). Densitas dapat dipengaruhi oleh tahap pemurnian, saat tahap pemurnian kurang baik maka dapat menyebabkan densitas bahan bakar cair bervariasi. Karakteristik ini sangat memiliki hubungan erat dengan nilai panas kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan bahan bakar yang digunakan. Densitas yang disarankan untuk biodiesel yaitu 850-890 kg/m³ berdasarkan SNI 7182:2015. Pengukuran densitas dapat dilakukan dengan menggunakan piknometer.

2.8.4 Viskositas

Viskositas adalah ukuran hambatan cairan untuk mengalir secara gravitasi. Aliran gravitasi dibawah tekanan hidrostatik, tekanan cairan sebanding dengan kerapatan cairan. Satuan viskositas dalam cgs adalah cm^2 per detik (Stokes). Satuan SI untuk viskositas m^2 per detik. Satuan yang lebih sering digunakan yaitu centistokes (cSt) ($1\text{cSt} = 10^{-2} \text{St} = 1 \text{mm}^2/\text{s}$). Viskositas yang disarankan untuk biodiesel yaitu 2,3-6,0 cSt berdasarkan SNI 7182:2015. Pada dasarnya bahan bakar harus memiliki viskositas yang relatif rendah agar mudah mengalir dan teratomisasi. Viskositas suatu cairan dapat dilakukan menggunakan beberapa metode yaitu metode bola jatuh, silinder konsentrik, metode *plate and cone*, piringan sejajar, dan metode kapilaritas.

2.9 Response Surface Methodology (RSM)

RSM merupakan gabungan dari teknik matematika dan statistika yang digunakan untuk membuat model dan menganalisis suatu respon y yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas atau faktor x , guna mengoptimalkan respon tersebut (Montgomery, 2013). Metode ini banyak digunakan untuk menganalisis suatu proses dimana respon yang diinginkan dipengaruhi berbagai variabel, dengan tujuan untuk mendapatkan hasil respon yang optimal. Penggunaan RSM ini telah berhasil diterapkan untuk memodelkan banyak proses transesterifikasi pada produksi biodiesel untuk mengetahui hasil yang paling optimum. Bezerra *et al*, (2008) melaporkan model paling sederhana yang dapat digunakan dalam RSM didasarkan pada fungsi linear, seperti yang disajikan pada persamaan 3.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon \quad (3)$$

Simbol k menunjukkan jumlah variabel, β_0 adalah intersep, β_i mewakili koefisien parameter linier, x_i mewakili variabel, dan ε adalah residu yang terkait dengan eksperimen.

Respons yang didapatkan pada fungsi linier tidak menunjukkan kelengkungan apapun. Model orde kedua dapat digunakan untuk mengevaluasi kelengkungan. Desain faktorial dua tingkat digunakan dalam estimasi efek orde pertama, tetapi gagal ketika efek tambahan, seperti efek orde kedua, signifikan. Jadi, titik sentral dalam desain faktorial dua tingkat dapat digunakan untuk mengevaluasi kelengkungan. Tingkat polinomial berikutnya harus berisi istilah tambahan, yang menggambarkan interaksi antara variabel eksperimental yang berbeda. Model untuk interaksi orde kedua dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (4)$$

Simbol ij mewakili koefisien parameter interaksi. Penentuan titik kritis (maksimum, minimum, atau sadel), fungsi polinomial harus mengandung istilah kuadrat sesuai dengan Persamaan 5.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{1 \leq i < j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (5)$$

Simbol ii mewakili koefisien parameter kuadrat. Perkiraan parameter dalam Persamaan 5, pada desain eksperimental harus dipastikan bahwa semua variabel yang dipelajari dilakukan setidaknya dalam tiga tingkat faktor.

2.10 *Analysis of Variance* (ANOVA)

ANOVA merupakan sebuah metode statistik untuk memeriksa hubungan antara dua atau lebih data dengan melakukan analisis varian. ANOVA banyak digunakan untuk menganalisis data dari suatu percobaan yang terancang. Suatu ciri dari ANOVA yaitu model ini terparameterisasikan secara berlebih, artinya model ini mengandung lebih banyak parameter dari pada yang dibutuhkan untuk mempresentasikan pengaruh-pengaruh yang diinginkan (Fajrin *et al.*, 2016).

ANOVA dapat memisahkan kesalahan dalam respons model permukaan menjadi beberapa komponen. Jumlah dan arti dari komponen kesalahan ini tergantung pada jenis desain eksperimental yang diterapkan. Semua komponen kesalahan dihitung dengan memanfaatkan berbagai jumlah sisa kuadrat dan derajat kebebasan yang terkait. Misalnya, untuk masalah dengan variabel bebas dan model permukaan respons polinomial, kesalahan total dapat dihitung dari jumlah kuadrat total, dan derajat kebebasan total (Yao and Wen, 2003).

Uji ANOVA digunakan sebagai metode analisis untuk menguji hipotesis penelitian. Hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian, di mana rumusan masalah penelitian telah dinyatakan dalam bentuk kalimat pertanyaan. Suatu hipotesis yang akan diuji dinamakan hipotesis nol (H_0). Hipotesis yang berbeda dengan hipotesis nol dinamakan hipotesis alternatif (H_a) (Sugiyono, 2013).

Saat ANOVA mencapai signifikansi statistik yang tinggi, model matematis yang diberikan dianggap dapat diterima dengan *F-value* pada tingkat kepercayaan 95% dan *p-value* $< 0,05$ (Ezekannagha *et al.*, 2017). Kualitas model matematis juga diperiksa berdasarkan beberapa kriteria yang meliputi koefisien determinasi (R^2) yang mendekati angka 1, selisih *adjusted* R^2 dan *predicted* R^2 tidak lebih dari 0,2, *adequate precision* (parameter yang mengukur rasio sinyal terhadap kesalahan) lebih besar dari 4 serta *Lack of Fit* tidak signifikan relatif terhadap kesalahan murni. Kondisi ini baik karena menandakan model cocok untuk data eksperimen (Yusuff *et al.*, 2022). Grafik residu juga dapat menghasilkan informasi mengenai kecocokan model. Jika model matematisnya cocok, grafik residunya menampilkan perilaku yang menunjukkan distribusi normal (Bezerra *et al.*, 2008).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, pada bulan Oktober 2022 hingga April 2023. Karakterisasi zeolit-A dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT), Laboratorium Kimia Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Laboratorium Sentra Universitas Padjadjaran (UNPAD), dan Laboratorium Institut Teknologi Bandung (ITB). Analisis biodiesel dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia (UII).

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu neraca analitik, kompor gas, panci, saringan, oven, mesh 200 nm, gelas ukur, gelas beaker, mortar dan alu, *hot plate* dan *magnetic stirrer*, batang pengaduk, spatula, autoklaf, tanur, seperangkat alat refluks, termometer, corong gelas, corong pisah, statif dan klem, *X-Ray Diffraction* (XRD, Xpert MPD), *Scanning Electron Microscope* (SEM, ZEISS EVO MA 10), *Particle Size Analyzer* (PSA, Beckmen Coulter LS 13 320), *Brunauer-Emmett-Teller* (BET, Quantachrome Instruments) dan *Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry* (GC-MS, QP2010S SHIMADZU).

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

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Preparasi dan Ekstraksi Silika Sekam Padi

Limbah sekam padi dicuci menggunakan air beberapa kali untuk membuang kotoran yang terdapat pada sekam padi serta memisahkan sekam padi yang terapung. Sekam padi yang tenggelam dan telah bersih kemudian dikeringkan dengan cara dijemur dibawah sinar matahari hingga kering. Selanjutnya, dilakukan ekstraksi menggunakan metode sol-gel. Sebanyak 50 gram sekam padi yang telah kering dicampurkan larutan NaOH 1,5% sebanyak 500 mL. Campuran dipanaskan hingga mendidih lalu dipertahankan selama 30 menit. Kemudian hasil ekstraksi, *diaging* selama 24 jam. Setelah itu dilakukan penyaringan untuk memisahkan antara filtrat dan residu. Kemudian filtrat yang dihasilkan ditambahkan HNO₃ 10% hingga pH netral dan menjadi gel. Kemudian gel *diaging* selama 24 jam, setelah itu gel dicuci dengan air hangat hingga berwarna putih. Setelah gel dicuci, selanjutnya gel dimasukan dalam oven hingga kering. Selanjutnya, digerus dan diayak dengan ayakan 200 mesh didapatkan bubuk silika sekam padi dengan ukuran yang relatif homogen.

3.3.2 Sintesis Zeolit-A

Sebanyak 20 gram NaOH dilarutkan dalam 250 mL akuades. Larutan NaOH yang dihasilkan dibagi menjadi 2, yaitu bagian 1 sebanyak 150 mL dan bagian 2 sebanyak 100 mL. Larutan NaOH sebanyak 150 mL (bagian 1) ditambahkan 30

gram silika sekam padi. Lalu, diaduk selama 3 jam pada suhu 70 °C dan didapatkan larutan natrium silikat. Kemudian disaring menggunakan kertas saring dan *diaging* selama 24 jam. Selanjutnya, larutan NaOH sebanyak 100 mL (bagian 2) ditambahkan secara perlahan 13,5 gram *aluminium foil grade food* yang telah dipotong kecil-kecil. Setelah *aluminium foil grade food* larut seluruhnya, ditambahkan larutan natrium silikat. Kemudian campuran *distrirrer* selama 3 jam. Kemudian larutan dimasukkan kedalam autoklaf dan *diaging* selama 24 jam. Setelah *diaging*, dilakukan kristalisasi dalam oven pada suhu 100 °C selama 72 jam. Selanjutnya, sampel dikeluarkan dari oven dan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Setelah itu, dikeringkan dalam oven, digerus dan diayak dengan mesh 200 nm. Kemudian, sampel yang dihasilkan dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 6 jam.

3.3.3 Karakterisasi Katalis Zeolit-A

Karakterisasi katalis zeolit-A dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari katalis yang dihasilkan. Fasa kristal dan amorf secara kualitatif dan kuantitatif, persen kristalinitas, dan struktur kristal dapat dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD, Xpert MPD). Morfologi permukaan dapat dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM, ZEISS EVO MA 10). Ukuran dan distribusi partikel dapat dikarakterisasi menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA, Beckmen Coulter LS 13 320). Luas permukaan, volume total pori, serta jari-jari pori dapat dikarakterisasi dengan menggunakan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET, Quantachrome Instruments).

3.3.3.1 *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk mengetahui fasa dan menentukan sifat kristal dari sampel yang dihasilkan. Data difraktogram akan

memberikan informasi mengenai struktur ataupun fasa berdasarkan letak sudut 2θ . Karakterisasi XRD pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), mengikuti prosedur yang diterapkan oleh institusi tersebut. Difraktometer yang digunakan yaitu tipe Xpert MPD. Pola XRD dihasilkan setelah pemindaian radiasi Cu-K α ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) dengan energi 40 kV dan arus 30 mA. Pola direkam pada sudut (2θ) dengan rentang 0-50°. Kemudian, pola sampel dibandingkan dengan standar *International Zeolite Association* (IZA) sebagai referensi dan dianalisis menggunakan program Match! Version 3.4.2 Build 96 untuk mengidentifikasi fasa kristal dalam sampel.

3.3.3.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

Karakterisasi menggunakan SEM bertujuan untuk memberikan informasi tentang morfologi permukaan sampel. Pada penelitian ini karakterisasi SEM dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT), dengan mengikuti prosedur yang diterapkan oleh institusi tersebut. Alat SEM yang digunakan yaitu ZEISS EVO MA 10, yang dioperasikan pada 8 kV dengan tegangan percepatan elektron 20 kV. Zeolit-A hasil sintesis dipindai pada perbesaran 1.000; 5.000; 10.000, dan 15.000x untuk mendapatkan tampilan permukaan yang lebih baik.

3.3.3.3 Particle Size Analyzer (PSA)

Karakterisasi menggunakan PSA bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dari zeolit-A hasil sintesis yang akan digunakan dalam reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit. Karakterisasi PSA dilakukan di Laboratorium Sentra Universitas Padjadjaran mengikuti prosedur yang diterapkan oleh institusi tersebut. Alat yang digunakan yaitu PSA tipe Beckmen Coulter LS 13 320 dan air digunakan sebagai media pendispersi sampel. Sampel berupa

serbuk yang didispersikan dalam media cair, kemudian diperoleh berupa kurva distribusi ukuran partikel.

3.3.3.4 Brunauer-Emmett-Teller (BET)

Karakterisasi menggunakan BET dilakukan untuk mengetahui luas permukaan spesifik, volume dan jari-jari pori dari zeolit-A yang disintesis. Karakterisasi BET dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Bandung (ITB), dengan mengikuti prosedur yang diterapkan oleh institusi tersebut. Zeolit-A hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan Quantachrome Instruments, dengan nitrogen sebagai adsorben pada temperatur 77,35 K dan *cross section area* 16,2 Å²/mol.

3.3.4 Optimasi Kondisi Reaksi Transesterifikasi menggunakan RSM

Pada proses reaksi transesterifikasi terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi. Oleh karena itu, faktor-faktor yang mempengaruhi akan dianalisis menggunakan teknik optimasi RSM. Percobaan dilakukan berdasarkan *Central Composite Design* (CCD) dalam perangkat lunak Design Expert 13.0. Nisbah metanol terhadap minyak, waktu reaksi, dan jumlah katalis dipilih sebagai variabel independen dan konversi biodiesel sebagai variabel dependen. Rentang percobaan dan level variabel independen untuk produksi biodiesel dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rentang dan level untuk CCD

Variabel independen	Rentang dan Level		
	-1	0	1
Jumlah Katalis (%)	5	7,5	10
Nisbah Metanol:Minyak	3	4	6
Waktu Reaksi (Jam)	3	4	5

Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan kondisi reaksi mengikuti *Design of Experiment* (DOE) dari perangkat lunak, yang dapat dilihat pada Tabel 6. Metode yang digunakan pada reaksi transesterifikasi yaitu metode refluks, yang diawali dengan memasukkan minyak kelapa sawit sebanyak 25 mL, metanol, dan katalis kedalam labu alas bulat. Kemudian, direfluks pada suhu 70 °C dengan variasi waktu mengikuti DOE. Lalu, hasil transesterifikasi didiamkan semalaman dalam corong pisah untuk memisahkan minyak sisa dan biodiesel yang dihasilkan. Kemudian, konversi biodiesel dihitung menggunakan Persamaan 6.

$$\text{Konversi}(\%) = \frac{\text{Volume minyak awal}(\text{mL}) - \text{Volume minyak akhir}(\text{mL})}{\text{Volume minyak awal}(\text{mL})} \times 100\% \quad (6)$$

Tabel 6. *Design of Experiment* (DOE)

Percobaan	A : Jumlah katalis (%)	B: Nisbah metanol:minyak	C: Waktu reaksi (jam)
1	5	3	5
2	10	6	5
3	7,5	4	5
4	7,5	3	4
5	7,5	4	5
6	5	6	4
7	10	3	5
8	7,5	4	3
9	10	4	3
10	7,5	4	5
11	7,5	3	4
12	7,5	6	3
13	10	3	5
14	5	3	4
15	5	4	5
16	10	4	3
17	5	4	5
18	10	6	4
19	7,5	3	5
20	5	3	3

Hasil dari DOE yang dianalisis menggunakan ANOVA kemudian dilakukan uji hipotesis. Penelitian ini menggunakan hipotesis model prasyarat diterima H_0 jika $p\text{-value} < 0,05$ dan ditolak H_a jika $p\text{-value} > 0,05$, serta *Lack of Fit* prasyarat diterima H_0 jika $p\text{-value} > 0,05$ dan ditolak H_a jika $p\text{-value} < 0,05$.

3.3.5 Analisis Biodiesel

Biodiesel yang dihasilkan dilakukan analisis untuk mengetahui karakteristik dari biodiesel yang dihasilkan. Analisis yang dilakukan meliputi komposisi biodiesel yang diperoleh dengan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) dan uji parameter fisik biodiesel seperti, titik nyala (*flash point*), densitas, dan viskositas.

3.3.5.1 Analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)

Produk yang dihasilkan dari uji perengkahan dianalisis dengan menggunakan GC-MS. Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi komponen dalam produk dan secara khusus untuk melihat apakah senyawa-senyawa dalam sampel mampu diubah menjadi hidrokarbon. Pada penelitian ini analisis dilakukan menggunakan GC-MS model QP2010S SHIMADZU. Langkah-langkah penggunaan GC-MS sebagai berikut :

1. Transformator/*power supply* dinyalakan, kemudian tombol on ditekan pada alat GC-MS, berturut-turut untuk power pada Ion Gauge (I.G.), MS, dan GC. Gas He dialirkan, dan dihidupkan pula komputer monitor dan printer.
2. Dipilih menu *Class-5000*, klik *vacuum control*, dan *auto start up* dijalankan.
3. GC-MS monitor diaktifkan, set temperatur injektor, kolom, dan detektor. Kemudian ditunggu hingga tekanan vakum di bawah 5 kpa.

4. *Tuning* diaktifkan, diklik *auto tune*, *load method* yang digunakan. Kemudian klik *start* dan ditunggu beberapa saat sampai hasilnya tercetak setelah selesai klik *close tuning*.
5. *Method development* diaktifkan, set GC parameter, set MS parameter, *save* metode yang telah dideskripsikan, kemudian klik *exit*.
6. *Real time analysis* diaktifkan, dipilih parameter *single sample*, kemudian diisi dengan deskripsi yang diinginkan.
7. Dilakukan *send parameter* tunggu sampai GC dan MS siap, kemudian dilakukan injeksi sampel.
8. *Post run analysis* diaktifkan, kemudian pilih browser untuk analisis sampel secara kualitatif.
9. Dilakukan pengaturan *peak top comment (peak label)*, dan reintegrasi *load file* yang dianalisa. Kemudian dipilih *display spectrum search* pada puncak tertentu dan dilakukan *report* pada bagian yang diinginkan.
10. Untuk mengakhiri, temperatur injektor, kolom dan detektor pada GC-MS monitor didinginkan sampai temperatur ruangan (30 °C). Bila sudah tercapai, *vacuum control* diklik dan dilakukan *auto shut down*. Perangkat alat dimatikan dengan urutan komputer: GC MS, IG, dan gas He.

3.3.5.2 Titik Nyala (*Flash Point*)

Berikut langkah-langkah untuk analisis *flash point* bahan bakar cair:

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

3.3.5.3 Densitas

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

1. Piknometer kosong dikeringkan di dalam oven kemudian ditimbang terlebih dahulu.
2. Piknometer diisi dengan sampel kemudian ditimbang kembali, berat sampel sama dengan selisih antara piknometer kosong dengan piknometer yang berisi sampel.
3. Densitas sampel kemudian dihitung dengan menggunakan Persamaan 7.

$$Densitas = \frac{massa\ zat(g)}{volume\ zat(mL)} \quad (7)$$

3.3.5.4 Viskositas

Viskositas diukur untuk mengetahui kekentalan suatu sampel. Dalam penelitian ini viskositas yang digunakan adalah viskometer Ostwald. Langkah-langkah dalam analisis viskositas adalah sebagai berikut:

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

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sintesis zeolit-A telah berhasil dilakukan, dibuktikan dengan hasil karakterisasi XRD yang menunjukkan adanya puncak-puncak zeolit-A. Hasil ini didukung juga oleh karakterisasi SEM yang menunjukkan terbentuknya morfologi zeolit-A, namun masih terdapat fasa lain. Zeolit-A hasil sintesis memiliki ukuran partikel yang heterogen berdasarkan karakterisasi PSA serta pori berukuran meso berdasarkan karakterisasi BET.
2. Optimasi reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol menggunakan zeolit-A sebagai katalis didapatkan pada kondisi jumlah katalis sebesar 9,6%, nisbah metanol:minyak 6:1, dan waktu reaksi selama 4,3 jam.
3. Plot 3D yang didapatkan menunjukkan bahwa interaksi waktu reaksi dan jumlah katalis serta waktu reaksi dan nisbah metanol:minyak tidak signifikan dalam mempengaruhi konversi biodiesel. Hal ini sesuai dengan hasil ANOVA.
4. Biodiesel yang dihasilkan berdasarkan analisis GC-MS didominasi oleh metil palmitat (41,39%) dan metil oleat (39,75%), serta berdasarkan hasil uji parameter fisik belum memenuhi syarat baku mutu biodiesel SNI 7182:2015.

5.2 Saran

Adapun yang disarankan untuk penelitian selanjutnya yaitu diperlukan uji parameter fisik ditempat yang memiliki instrumen pendukungnya.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasian, S., and Taghizadeh, M. 2014. *Preparation of H-ZSM-5 Nano-Zeolite using Mixed Template Method and its Activity Evaluation for Methanol to DME Reaction*. 10(3): 171–180.
- Abbaszaadeh, A., Ghobadian, B., Omidkhah, M. R., and Najafi, G. 2012. Current Biodiesel Production Technologies: A Comparative Review. *Energy Conversion and Management*. 63: 138–148.
- Arinanda, A. G. 2019. *Konversi Campuran Eceng Gondok dan Minyak Kelapa Sawit menjadi Bahan Bakar Cair dengan Metode Pirolisis menggunakan Zeolit-A sebagai Katalis*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Assureira, E. 2002. Rice Husk-an Alternative Fuel in Perú. *Boiling Point*. 48(48): 35–36.
- Bas, D., and Boyaci, I. H. 2007. Modeling and optimization: Usability of Response Surface Methodology. *Journal of Food Engineering*. 78(3). 836–845.
- Battegazzore, D., Bocchini, S., Alongi, J., and Frache, A. 2014. Rice Husk as Bio-Source of Silica: Preparation and Characterization of PLA-silica Bio-composites. *RSC Advances*. 4(97): 54703–54712.
- Bayat, A., Baghdadi, M., and Bidhendi, G. N. 2018. Tailored Magnetic Nano-Alumina as an Efficient Catalyst for Transesterification of Waste Cooking Oil: Optimization of Biodiesel Production using Response Surface Methodology. *Energy Conversion and Management*. 177(10): 395–405.
- Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., and Escaleira, L. A. 2008. Response Surface Methodology (RSM) as a Tool for Optimization in Analytical Chemistry. *Talanta*. 76(5): 965–977.

- Breck, D. 1984. *Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry and Use*. R.E. Krieger. Lansing.
- Chungsangunsit, T., Gheewala, S. H., and Patumsawad, S. 2009. Emission Assessment of Rice Husk Combustion for Power Production. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 53(5): 1070–1075.
- Demirbas, A. 2005. Biodiesel Production from Vegetable Oils via Catalytic And Non-Catalytic Supercritical Methanol Transesterification Methods. *Progress in Energy and Combustion Science*. 31(6): 466–487.
- Demirbas, A. 2008. *Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines*. Springer Science and Business Media. Berlin.
- Demirbas, A. 2009. Progress and Recent Trends in Biodiesel Fuels. *Energy Conversion and Management*. 50(1): 14–34.
- Deutschmann, O., Knozinger, H. Kochloefl, K. Schwarzenbergstr, and Turek, T. 2009. *Heterogeneous Catalysis and Solid Catalysis*. Wiley-VCH Verlag.
- Economic Cooperation. 2010. Energy Supply and Demand: Trends and Prospects. *Fuel*: 5–20.
- El-Mashad, H. M., Zhang, R., and Avena-Bustillos, R. J. 2008. A Two-Step Process for Biodiesel Production from Salmon Oil. *Biosystems Engineering*. 99(2): 220–227.
- Ezekannagha, C. B., Ude, C. N., and Onukwuli, O. D. 2017. Optimization of the Methanolysis of Lard Oil in the Production of Biodiesel with Response Surface Methodology. *Egyptian Journal of Petroleum*. 26(4): 1001–1011.
- Fadhel, A. Z., Pollet, P., Liotta, C. L., and Eckert, C. A. 2010. Combining the Benefits of Homogeneous and Heterogeneous Catalysis with Tunable Solvents and Nearcritical Water. *Molecules*. 15(11): 8400–8424.
- Fajrin, J., Pathurahman, P., dan Pratama, L. G. 2016. Aplikasi Metode Analysis of Variance (ANOVA) untuk Mengkaji Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Mortar. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*. 12(1): 11-23.

- Georgiev, D., Bogdanov, B., Angelova, K., Markovska, I., and Hristov, Y. 2009. Synthetic Zeolites - Structure, Clasification, Current Trends In Zeolite Synthesis : Review. *International Science Conference*. 7(9): 2–3.
- Gibson, N., Kuchenbecker, P., Rasmussen, K., and Hodoroaba, V. 2020. Volume-Specific Surface Area By Gas Adsorption Analysis with the BET Method. In *Characterization of Nanoparticles*. Elsevier Inc.
- Ginting, S. B., dan Nurfiqih, M. Y. 2018. Sintesis Zeolit A dari Coal Bottom Ash dengan Metode Step Change of Synthesis Temperature dengan Variasi Suhu Kalsinasi Diaplikasikan untuk Dehidrasi Etanol. *Mechanical*. 9(1): 7.
- Gregg, S. J., and Sing, K. S. 1982. *Adsorption Surface Area and Porosity*. Academic Press. London.
- Guan, Guoqing., Kusakabe, Katsuki and Yamasaki, S. 2009. Tri-Potassium Phosphate as a Solid Catalyst for Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Fuel Processing Technology*. 90: 520–524.
- Herliana, Ilim, Simanjuntak, W., and Pandiangan, K. D. 2021. Transesterification of Coconut Oil (*Cocos nucifera L.*) into Biodiesel using Zeolite-A Catalyst Based on Rice Husk Silica and Aluminum Foil. *Journal of Physics: Conference Series*. 1751(1): 1-8.
- Hidayati, N., Ariyanto, T. S., and Septiawan, H. 2017. Kalsium Oksida. *Teknologi Bahan Alam*. 1(1): 1–5.
- Juan, J. C., Kartika, D. A., Wu, T. Y., and Hin, T. Y. 2011. Biodiesel Production from Jatropha Oil by Catalytic and Non-catalytic Approaches: An Overview. *Bioresource Technology*. 102(2): 452–460.
- Kansedo, J., Lee, K. T., and Bhatia, S. 2009. Biodiesel Production from Palm Oil via Heterogeneous Transesterification. *Biomass and Bioenergy*. 33(2): 271–276.
- Kerry, J. 2012. Aluminium Foil Packaging. *Packaging Technology*. 163–177.
- Kolakoti, A., Setiyo, M., and Waluyo, B. 2021. Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: Characterization, Modeling and Optimization. *Mechanical Engineering for Society and Industry*. 1(1): 22–30.

- Kumar, S., Sangwan, P., Dhankhar, R., and Bidra, S. 2013. Utilization of Rice Husk and Their Ash : A Review. *Journal of Chemical and Environmental Sciences*. 1(5): 126-129.
- Kunecki, P., Panek, R., Wdowin, M., and Franus, W. 2017. Synthesis of Faujasite (FAU) and Tschernichite (LTA) Type Zeolites as a Potential Direction of the Development of Lime Class C Fly Ash. *International Journal of Mineral Processing*. 166(2017). 69-78.
- Lestari, D. Y. 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*. 30(10): 1–6.
- Mahfud., Muharto., Marwanto, A., and Pramudita, R. A. 2021. Metode Pencucian pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar. *Angewandte Chemie International Edition*. 6(11): 951–952.
- Mathiyazhagan, M., and Ganapathi. 2011. Factors Affecting Biodiesel Production. *Research in Plant Biology*. 1(2): 1–5.
- Meriatna, M., Zulmiardi, Z., Suryati, S., Sulhatun, S., Dina Nasution, Z., and Rahmadhani, R. 2022. Application of Pisang Awak Bunch-Derived Heterogenous Base Catalyst in Transesterification of Palm Oil into Biodiesel. *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*. 2(1). 58–63.
- Mohamad, M., Ngadi, N., Wong, S. L., Jusoh, M., and Yahya, N. Y. 2017. Prediction of Biodiesel Yield During transesterification Process using Response Surface Methodology. *Fuel*. 190(10).104–112.
- Montgomery, D. C. 2013. *Design and Analysis of Experiments Eighth Edition*. Arizona State University. John Wiley and Sons. New Jersey.
- Murukutti, K. M., and Jena, H. 2022. Synthesis of Nano-Crystalline Zeolite-A and Zeolite-X from Indian Coal Fly Ash, its Characterization and Performance Evaluation for The Removal of Cs⁺ and Sr²⁺ from Simulated Nuclear Waste. *Journal of Hazardous Materials*. 423(2023). 127085.
- Naderi, M. 2015. Surface Area : Brunauer-Emmett-Teller (BET). In *Progress in Filtration and Separation* (1st ed). Surface Measurement Systems Ltd.

- Nugroho, A., and Redjeki, A. S. 2015. Pengaruh Waktu Pemanasan pada Pembuatan Senyawa Alum dari Limbah Foil Blister untuk Keperluan Industri Farmasi. *Jurnal Konversi*. 4(2): 1.
- Nurhayati, N., Mukhtar, A., and Gapur, A. 2014. Transesterifikasi Crude Palm Oil (CPO) menggunakan Katalis Heterogen CaO dari Cangkang Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Kalsinasi 900 °C. *Jurnal ICA*.5(1): 23–29.
- Pandiangan, K. D., Arief, S., Jamarun, N., and Simanjuntak, W. 2017. Synthesis of Zeolite-X from Rice Husk Silica and Aluminum Metal as a Catalyst for Transesterification of Palm Oil. *Journal of Materials and Environmental Science*. 8(5): 1797–1802.
- Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Rilyanti, M., Jamarun, N., and Arief, S. 2017. Influence of Kinetic Variables on Rubber Seed Oil Trans-Esterification using Bifunctional Catalyst CaO-MgO/SiO₂. *Oriental Journal of Chemistry*. 33(6): 2891–2898.
- Qiu, T., Guo, X., Yang, J., Zhou, L., Li, L., Wang, H., and Niu, Y. 2016. The Synthesis of Biodiesel from Coconut Oil Using Novel Brønsted Acidic Ionic Liquid as Green Catalyst. *Chemical Engineering Journal*. 296(2016). 71–78.
- Rashid, U., Anwar, F., Ansari, T. M., Arif, M., and Ahmad, M. 2009. Optimization of Alkaline Transesterification of Rice Bran Oil for Biodiesel Production using Response Surface Methodology. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 84(9): 1364–1370.
- Ristianingsih, Y., Hidayah, N., dan Sari, F. W. 2016. Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO) sebagai Bahan Bakar Alternatif melalui Proses Transesterifikasi Langsung. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*. 2(1): 38–46.
- Sandra, S., Susilo, B., dan Aulia, N. I. 2021. Sintesis Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*) menjadi Biodiesel menggunakan Metil Asetat dengan Metode Interesterifikasi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*. 9(1): 1–10.
- Saraswati, I. 2016. Zeolite-A Synthesis from Glass. *Jurnal Sains dan Matematika*. 23(4): 112–115.
- Sayehi, M., Delahay, G., Tounsi, H. 2022. Synthesis and Characterization of Ecofriendly Materials Zeolite from Waste Glass and Aluminum Scraps using

the Hydrothermal Technique. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 10(6): 1-31.

Setyawardani, D. A. 2012. Penggeseran Reaksi Kesetimbangan Hidrolisis Minyak dengan Pengambilan Gliserol untuk Memperoleh Asam Lemak Jenuh Dari Minyak Biji Karet. *Ekulibium*. 12(2): 63–67.

Sharma, S., Saxena, V., Baranwal, A., Chandra, P., and Pandey, L. M. 2018. Engineered Nanoporous Materials Mediated Heterogeneous Catalysts and Their Implications in Biodiesel Production. *Materials Science for Energy Technologies*. 1(1). 11–21.

Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Sembiring, Z., Simanjuntak, A., and Hadi, S. 2021. The Effect of Crystallization Time on Structure, Microstructure, and Catalytic Activity of Zeolite-A Synthesized from Rice Husk Silica and Food-Grade Aluminum Foil. *Biomass and Bioenergy*. 148(2021): 1-7.

Sirvastava, A., dan Prasad, R. 2000. Triglycerides Based Biodiesel Fuels. *Renewable Sustainable Energy*. 4: 111–133.

Sugiyono. 2013. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Alfabeta. Bandung.

Thirumarimurugan, M., Sivakumar, V. M., Xavier, A. M., Prabhakaran, D., and Kannadasan, T. 2012. Preparation of Biodiesel from Sunflower Oil by Transesterification. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*. 2(6): 441–444.

Usta, N., Aydoğan, B., On, A. H., Uğuzdoğan, E., and Özkal, S. G. 2011. Properties and Quality Verification of Biodiesel Produced from Tobacco Seed Oil. *Energy Conversion and Management*. 52(5), 2031–2039.

Veljković, V. B., Biberdžić, M. O., Banković-Ilić, I. B., Djalović, I. G., Tasić, M. B., Nježić, Z. B., and Stamenković, O. S. 2018. Biodiesel Production from Corn Oil: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 91(4), 531–548.

Wang, Y., Wang, H., Chuang, T., Chen, B., and Lee, D. 2014. Biodiesel Produced from Catalyzed Transesterification of Triglycerides using Ion-Exchanged Zeolite Beta and MCM-22. *Energy Procedia*. 61: 933–936.

- Widi, R. K. 2018. *Pemanfaatan Material Anorganik: Pengenalan dan Beberapa Inovasi di Bidang Penelitian*. Deepublish. Yogyakarta.
- Wong, Y. C., Tan, Y. P., Taufiq-Yap, Y. H., and Ramli, I. 2015. An Optimization Study for Transesterification of Palm Oil using Response Surface Methodology (RSM). *Sains Malaysiana*. 44(2): 281–290.
- Xu, R., Pang, W., Yu, J., Uo, Q., dan Chen, J. 2007. *Chemistry of Zeolites and Related Porous Materials : Synthesis and Structure*. John Wiley and Sons. New Jersey.
- Xu, Y. X., and Hanna, M. A. 2009. Synthesis and Characterization of Hazelnut Oil-Based Biodiesel. *Industrial Crops and Products*. 29(2). 473–479.
- Yao, T. H., and Wen, Y. K. 2003. Response surface Method for Time-Variant Reliability Analysis. *Journal of Structural Engineering*. 122(2). 89-99.
- Yusuff, A. S., Popoola, L. T., Adeniyi, D. O., and Olutoye, M. A. 2022. Coal Fly Ash Supported ZnO Catalyzed Transesterification of Jatropha Curcas Oil: Optimization by Response Surface Methodology. *Energy Conversion and Management X*. 16(7): 1-9.
- Zaarour, M., Dong, B., Naydenova, I., Retoux, R., and Mintova, S. 2014. Progress in Zeolite Synthesis Promotes Advanced Applications. *Microporous and Mesoporous Materials*. 189(2014): 11–12.
- Zahan, K. A., and Kano, M. 2018. Biodiesel Production from Palm Oil, its by Products, and Mill Effluent: A Review. *Energies*. 11(8): 1–25.