

**OPTIMALISASI PRODUK REAKSI TRANSESTERIFIKASI DARI
MINYAK BIJI JARAK KALIPI (*Ricinus communis L.*) MENGGUNAKAN
KATALIS ZEOLIT-A DENGAN STUDI *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY* (RSM)**

(Skripsi)

Oleh

Nurul Fajriyati



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF TRANSESTERIFICATION REACTION PRODUCTS FROM KALIKI CASTOR SEED OIL (*Ricinus communis* L.) USING ZEOLITE-A CATALYST WITH RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM) STUDY

By

NURUL FAJRIYATI

In this research, the synthesis of zeolite-A has been carried out from rice husk silica raw materials and food grade aluminum foil using the hydrothermal method for 72 hours at a temperature of 100 °C, then calcined at a temperature of 550 °C for 6 hours. The zeolite-A samples obtained were then characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM), Particle Size Analyzer (PSA), Fourier Transform Infrared (FTIR), and Brunauer-Emmett-Teller (BET). The zeolite-A obtained was used as a catalyst in the transesterification reaction process of Kaliki castor bean oil to produce biodiesel. The optimum conditions for the transesterification reaction were then evaluated using Response Surface Methodology (RSM) by observing 3 factorial levels that influence the conversion results such as the amount of catalyst (2,5%; 5%; and 7,5%), the ratio of methanol to oil (3:1; 4,5:1; and 6:1), and reaction time (15, 37.5 and 60 minutes). The transesterification reaction was carried out using the reflux method at a reaction temperature of 70 °C. The resulting research showed that the optimum conditions were obtained at 7,5%, with a methanol to oil ratio of 6:1 and a reaction time of 60 minutes with a conversion yield of 100%. The methyl ester obtained from the transesterification product under optimum conditions was analyzed using the GC-MS technique, and the main component was 90,70% methyl ricinoleate.

Key words: Biodiesel, kaliki castor seed oil, Response Surface Methodology, transesterification, zeolite-A.

ABSTRAK

OPTIMALISASI PRODUK REAKSI TRANSESTERIFIKASI DARI MINYAK BIJI JARAK KALI KI (*Ricinus communis L.*) MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT-A DENGAN STUDI *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* (RSM)

Oleh

NURUL FAJRIYATI

Pada penelitian ini, telah dilakukan sintesis zeolit-A dari bahan baku silika sekam padi dan aluminium foil food grade dengan menggunakan metode hidrotermal selama 72 jam pada suhu 100 °C, selanjutnya dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 6 jam. Sampel zeolit-A yang diperoleh, kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Particle Size Analyzer* (PSA), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET). Zeolit-A yang diperoleh digunakan sebagai katalis dalam proses reaksi transesterifikasi minyak biji jarak kaliki untuk menghasilkan biodiesel. Kondisi optimum pada reaksi transesterifikasi selanjutnya dilakukan evaluasi menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan mengamati 3 *level factorial* yang mempengaruhi hasil konversi seperti jumlah katalis (2,5%; 5%; dan 7,5%), nisbah metanol terhadap minyak (3:1; 4,5:1; dan 6:1), dan waktu reaksi (15, 37,5 dan 60 menit). Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan metode refluks pada suhu reaksi 70 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum yang diperoleh pada 7,5% (1,87 gram), dengan nisbah metanol terhadap minyak 6:1 dan waktu reaksi yang digunakan 60 menit dengan hasil konversi sebesar 100%. Metil ester yang diperoleh dari produk transesterifikasi pada kondisi optimum dilakukan analisis dengan teknik GC-MS, diperoleh komposisi utamanya yaitu metil ricinoleat sebesar 90,70%.

Kata kunci: Biodiesel, minyak Biji Jarak Kaliki, *Response Surface Methodology*, transesterifikasi, zeolit-A.

**OPTIMALISASI PRODUK REAKSI TRANSESTERIFIKASI DARI
MINYAK BIJI JARAK KALI KI (*Ricinus communis L.*) MENGGUNAKAN
KATALIS ZEOLIT-A DENGAN STUDI *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY* (RSM)**

Oleh

Nurul Fajriyati

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
2024**

Judul Penelitian

: OPTIMALISASI PRODUK REAKSI
TRANSESTERIFIKASI DARI MINYAK
BIJI JARAK KALIKI (*Ricinus communis L.*)
MENGUNAKAN KATALIS ZEOLIT-A
DENGAN STUDI *RESPONSE SURFACE*
METHODOLOGY (RSM)

Nama Mahasiswa

: Nurul Fajriyati

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2057011007

Jurusan

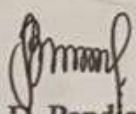
: Kimia

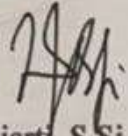
Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

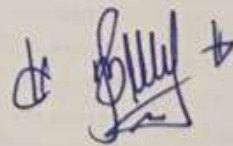


2. Komisi Pembimbing


Prof. Dr. Kamisah D. Pandjangan, M.Si.
NIP. 197212051997032001


Widiarti, S.Si., M.Si.
NIP. 198005022005012003

1. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung



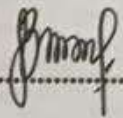
Dr. Mita Rilyanti, M.Si.
NIP. 197205302000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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



.....

Sekretaris

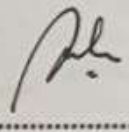
: **Widiarti, S.Si., M.Si.**



.....

Anggota

: **Dr. Yuli Ambarwati, S.Si., M.Si.**



.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP.197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **5 Agustus 2024**

**LEMBAR PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurul Fajriyati
Nomor Pokok Mahasiswa : 2057011007
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul **“Optimalisasi Produk Reaksi Transesterifikasi dari Minyak Biji Jarak Kaliki (*Ricinus Communis L.*) Menggunakan Katalis Zeolit-A dengan Studi *Response Surface Methodology* (RSM)”** 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 sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 20 Agustus 2024

Yang menyatakan



Nurul Fajriyati
NPM. 2057011007

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nurul Fajriyati lahir di Tanjung Bintang, pada tanggal 14 Februari 2002, anak kedua dari pasangan Ayah Pinardi dan Ibu Sudaryani (almarhumah). Penulis menempuh pendidikan di Taman Kanak-Kanak Dharma Pertiwi pada tahun 2007-2008.

Penulis melanjutkan pendidikan di SD Negeri 1 Merbau Mataram pada tahun 2008-2014, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2 Merbau Mataram pada tahun 2014-2017, Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Farmasi Cendikia Farma Husada Bandar Lampung pada tahun 2017-2020. Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur SMMPTN dan menyelesaikan studi pada tahun 2024.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan seperti menjadi anggota di Bidang Sosial dan Masyarakat Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) Universitas Lampung tahun 2021 - 2022. Penulis mengikuti kegiatan MBKM Kampus Merdeka yaitu BKP Magang Industri di PT. Indo Energy Solutions pada bulan Agustus - Desember 2022. Penulis juga mengikuti Riset MBKM yang dilaksanakan pada bulan Juni – Juli 2023 di Laboratorium Anorganik Fisik Universitas Lampung dan PT. Indo Energy Solutions. Penulis berpengalaman menjadi Asisten praktikum Kimia Fisik I dan II untuk mahasiswa Jurusan Kimia angkatan 2022.

Motto Hidup

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(QS. Al-Baqarah: 286)

“Cukuplah Allah menjadi Penolong kami dan Allah adalah sebaik-baiknya Penolong.”

(QS. Al Imron: 173)

“Hiduplah seakan-akan kamu akan mati hari esok dan belajarlah seolah-olah kamu akan hidup selamanya.”

(mahatma Gandhi)

“Believe in yourself, for you are capable of achieving remarkable things.”

Bismillahirrahmanirrahim

Segala Puji dan Syukur Kehadirat Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala* yang telah memberikan anugerah, nikmat, kesehatan, rahmat serta hidayah-Nya.

kupersembahkan karya kecilku ini kepada:

Bapak dan Ibu Tercinta

Terima kasih telah membesarkan, mendidik, mendoakan, mendukung dan memberikan kasih sayang yang tak terhingga.

Untuk kakakku Alpin Permana yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan karya ini.

Rasa hormat saya kepada:

Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si.

Widiarti, S.Si., M.Si.

Dr. Yuli Ambarwati, S.Si., M.Si.

Terima kasih atas bimbingan, ilmu, nasihat, dan kesabaran dalam membimbing selama ini.

Diri sendiri

Serta

Almamaterku Tercinta

Universitas Lampung

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT Yang Maha Kuasa yang telah melimpahkan rahmat karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Optimalisasi Produk Reaksi Transesterifikasi dari Minyak Biji Jarak Kaliki (*Ricinus Communis L.*) Menggunakan Katalis Zeolit-A dengan Studi *Response Surface Methodology* (RSM)”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, saran dan kritik dari berbagai pihak sehingga penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si. sebagai pembimbing pertama dalam menyusun skripsi ini atas segala bimbingan, nasihat, motivasi, bantuan, saran, dan segala kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu Widiarti, S.Si., M.Si. sebagai pembimbing kedua dalam menyusun skripsi ini atas segala bimbingan dan ilmu yang telah diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Yuli Ambarwati, S.Si, M.Si. sebagai dosen pembahas untuk skripsi ini terima kasih atas segala masukan, saran, kritik, dan pembelajaran yang telah diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. M.Si., sebagai Pembimbing Akademik atas segala saran terkait perkuliahan serta pembelajaran ilmu kimia dan ilmu kehidupan yang telah diberikan kepada penulis.
5. Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia, atas dukungan melalui dana Hibah Penelitian Dasar 2023 dengan nomor

kontrak induk 027/E5/PG.02.00.PL/2023 dan nomor kontrak turunan 2192/UN26.21/PN/2023.

6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. sebagai Dekan FMIPA Unila.
7. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. sebagai Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila atas segala bimbingan, ilmu, dan pembelajaran yang telah diberikan kepada penulis selama perkuliahan dan segenap staf dan karyawan Jurusan Kimia dan FMIPA Unila.
9. Bapak Pinardi dan Ibu Sudaryani (Almarhumah) selaku kedua orang tua serta Kakak Alpin Permana selaku saudara kandung yang telah memberikan dukungan dan mendoakan penulis.
10. Keluarga besar Bapak Jamaludin dan Ibu Sudaryanti selaku orang tua wali serta selaku Kakak Arief Rahman Fikri, dan Leni Marlina yang selalu memprioritaskan serta memberikan dukungan, dan doa sepenuhnya kepada penulis hingga selesai.
11. Diska Indah Alista S.Si., M.Si. sebagai mentor penelitian dan kakak pembimbing. Terima kasih atas segala kebaikan, masukan, dukungan, dan semangat yang telah diberikan kepada penulis.
12. Teman-teman seperbimbingan yang senantiasa menjadi tempat berdiskusi Franky Gom Gom, Muhammad Sabil, dan Tasyadinia.
13. Teman-teman Laboratorium Polimer yang kebersamai dalam lab, suka, dan duka, serta telah menjadi saksi selama penelitian berjalan.
14. Teman-teman seperjuangan semasa di bangku perkuliahan, Uli Asari, Bunga Mega Nurlinda, Erlisa Aulia, dan Nadira Meyza Ayuri, yang selalu memberi semangat, dukungan selama masa perkuliahan.
15. Teman-teman seperjuangan Riyadi, Ratih Nurhidayati, Putri Aisah Nurcahyani semasa MBKM BKP Magang Industri PT. Indo Energy Solution semoga diberikan kemudahan dan kelancaran.
16. Teman kimia angkatan 2020 dan khususnya kelas B yang sudah bertahan hingga saat ini, semoga sukses dengan jalan hidupnya masing-masing.
17. Para kakak tingkat yang senantiasa membimbing, Nugraha Bramanthio, Rangga Nanda Putra, Erika Noviana, dan Selvia Anggraini Hasan.

18. Teman-teman Himaki periode 2021 – 2022 yang masih bertahan, semoga sukses selalu.
19. Teman teman seperjuangan semasa di bangku SMK Farmasi CFD, Priska Beatrice Calista, Dewi Sintawati, Carin Nurmawati, Winda Rahmawati yang selalu memberi semangat tiada tara, serta dukungan kepada penulis.
20. Kepada diri saya sendiri, terima kasih sudah bertahan dan berjuang menyelesaikan penelitian serta penulisan hingga berhasil mendapatkan gelar S.Si.

Penulis berharap semoga bantuan dan dukungan yang diberikan mendapat balasan pahala dari Tuhan YME dan semoga skripsi dapat ini bermanfaat bagi kita semua

Bandar Lampung,

Nurul Fajriyati

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	x
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Biodiesel	6
2.2. Minyak Biji Jarak Kepyar	6
2.3. Reaksi Transesterifikasi	6
2.4. Katalis	7
2.4.1. Katalis Homogen	8
2.4.2. Katalis Heterogen	8
2.4.3. Biokatalis	9
2.5. Zeolit	9
2.5.1. Zeolit Sintesis	10
2.5.2. Zeolit-A	11
2.6. Silika Sekam Padi	12
2.7. Karakterisasi zeolit-A	13
2.7.1. X-Ray Diffraction (XRD)	13
2.7.2. Scanning Electron Microscopy (SEM)	14
2.7.3. Brunauer Emmett Teller (BET)	16
2.7.4. Fourier Transform InfraRed (FTIR)	16
2.7.5. Particle Size Analyzer (PSA)	17
2.8. Karakterisasi Biodiesel	18
2.8.1. Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)	18
2.8.2. Titik Nyala (Flash Point)	19
2.8.3. Densitas	19
2.9. Response Surface Methodology (RSM)	21
2.10. Analysis of Variance (ANOVA)	23

III. METODE PENELITIAN.....	24
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.2. Alat dan Bahan	24
3.3. Diagram Alir.....	26
3.3.1. Sintesis dan Karakterisasi Katalis	26
3.3.2. Transesterifikasi Minyak Jarak Kaliki Dengan Katalis zeolit-A	27
3.4. Prosedur Kerja	27
3.4.1. Preparasi Sekam Padi.....	27
3.4.2. Ekstraksi Silika Sekam Padi	28
3.4.3. Sintesis Zeolit-A	28
3.5. Karakterisasi zeolit-A.....	29
3.3.1. X-Ray Diffraction (XRD).....	42
3.3.2. Scanning Electron Microscopy (SEM)	43
3.5.3. Fourier Transform Infrared (FTIR).....	30
3.3.4. Particle Size Analyzer (PSA).....	30
3.3.5. Brunauer-Emmett-Teller (BET).....	31
3.6. Uji Transesterifikasi Minyak Biji Jarak Kaliki Dengan Katalis zeolit-A	31
3.7. Karakterisasi Biodiesel.....	33
3.7.1. Analisis Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS) Biodiesel Transesterifikasi	33
3.7.2. Titik Nyala (Flash Point).....	34
3.7.3. Densitas.....	35
3.7.4. Viskositas.....	36
 IV. 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.....	40
4.4.1. X-Ray Diffraction (XRD).....	43
4.4.2. Scanning Electron Microscope (SEM)	43
4.4.3. Fourier Transform Infrared (FTIR).....	45
4.4.4. Partical Size Analyzers (PSA)	47
4.4.5. Brunauer Emmett Teller (BET)	49
4.5. Uji Transesterifikasi Minyak Jarak Kaliki Dengan Katalis Zeolit-A.....	50
4.6. Analisis Statistik.....	53
4.7. Analisi Biodiesel	61
4.7.1. Analisi GC-MS	61
4.7.2. Uji Fisik Biodiesel Minyak Jarak Kaliki	62
 V. SIMPULAN DAN SARAN	 64
5.1 Simpulan.....	64
5.2 Saran.....	65
 DAFTAR PUSTAKA	 66
LAMPIRAN	70

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Standar Nasional Indonesia (SNI) syarat mutu biodiesel Badan Standarisasi Nasional (BSN, 2015).....	6
2. Rentang dan level untuk CCD.	32
3. Design of experiment (DOE).	32
4. Standar Nasional Indonesia (SNI) syarat mutu biodiesel Badan Standarisasi Nasional (BSN, 2015).....	33
5. Perbandingan data 2 θ standar IZA dan hasil sintesis zeolit-A.....	42
6. Data perbandingan bilangan gelombang pada zeolit-A dan hasil sintesis zeolit-A.	46
7. Data rentang distribusi ukuran partikel zeolit-A.	48
8. Hasil analisis BET.....	50
9. Hasil uji transesterifikasi minyak jarak kaliki dengan bantuan katalis zeolit-A.	51
10. Hasil ANOVA transesterifikasi minyak jarak kaliki dengan bantuan katalis zeolit-A.....	56
11. Koefisien statistik.....	56
12. Identifikasi produk transesterifikasi dari minyak jarak kaliki terhadap metanol dengan bantuan katalis zeolit-A.	62
13. Hasil uji fisik biodiesel minyak jarak.....	63
14. Hasil sintesis zeolit-A	71
15. Persentil volume standar dan rata rata-rata diameter partikel.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Reaksi transesterifikasi	7
2. Kerangka zeolit-A	12
3. Pola XRD zeolit-A hasil sintesis.....	14
4. Mikrograf zeolit-A dengan variasi waktu kristalisasi (a) 48 jam, (b) 72 jam, dan (c) 96 jam	15
5. Kromatogram GC-MS.....	19
6. Diagram alir sintesis dan karakterisasi katalis	26
7. Diagram alir transesterifikasi	27
8. (a). Ekstraksi silika sekam padi dan (b). Sol silika.	38
9. (a) gel silika setelah dicuci dan (b) serbuk silika sekam padi.	39
10. Sintesis zeolit-A (a) zeolit prekursor, (b) zeolit-A sebelum kalsinasi, (c) zeolit-A setelah kalsinasi.....	40
11. Perbandingan difraktogram standar IZA dan hasil sintesis zeolit-A.	41
12. Hasil analisis kualitatif zeolit-A menggunakan program Match!	43
13. Morfologi zeolit-A hasil sintesis dengan perbesaran (a) 15.000x, dan (b) 25.000x.....	44
14. Pola spektrum FTIR zeolit-A hasil sintesis.....	45
15. Kurva distribusi partikel zeolit-A.....	47
16. Kurva isotherm adsorpsi dan desorpsi N ₂ dari hasil sintesis zeolit-A.....	49
17. Pemisahan produk transesterifikasi.....	51

18. Grafik ketepatan hasil percobaan dengan hasil prediksi.	54
19. (a) plot perbandingan antara hasil percobaan dan prediksi, (b) <i>residual vs run</i>	54
20. Plot 3D pengaruh interaksi antara (a) jumlah katalis dan nisbah metanol:minyak, (b) jumlah katalis dan waktu reaksi, (c) nisbah metanol:minyak dan waktu reaksi.	57
21. Plot kontur 2D interaksi antara (a) jumlah katalis dan nisbah metanol:minyak, (b) jumlah katalis dan waktu reaksi, (c) nisbah metanol:minyak dan waktu reaksi.	59
22. Optimasi konversi dari hasil transesterifikasi	617
23. Kromatogram biodiesel minyak jarak kaliki dengan katalis zeolit-A.....	61
24. Mikrograf zeolit-A dengan perbesaran (a) 1.000x, (b) 5.000x, (c) 10.000x, (d) 15.000x.	75

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan energi baru terbarukan menjadi solusi dalam mengatasi kelangkaan energi bahan bakar minyak. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi besar dalam mengembangkan sumber energi baru terbarukan. Sumber daya energi sangat penting untuk pembangunan sosial ekonomi negara. Negara Indonesia salah satunya memiliki banyak sumber daya alam, sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil, seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam (Ekawati dkk., 2023). Penggunaan bahan bakar fosil yang semakin meningkat, membutuhkan bahan bakar alternatif untuk mengembangkan energi terbarukan (*renewable*) yang ramah lingkungan salah satunya adalah biodiesel (Ghifari dan Samik, 2023).

Biodiesel merupakan mono-alkil ester yang berasal dari asam lemak minyak nabati atau lemak hewani sehingga ramah lingkungan. Biodiesel dapat diproduksi melalui reaksi transesterifikasi dari asam lemak yang berasal dari minyak nabati seperti minyak kelapa sawit, minyak biji karet, kedelai, bunga matahari, kacang tanah, jarak kepyar, minyak kelapa dan beberapa jenis minyak tumbuhan lainnya (Dimawarnita dkk., 2021). Bahan yang berpotensi dalam pembuatan biodiesel di Indonesia salah satunya adalah minyak biji jarak kaliki (*Ricinus communis L.*).

Ricinus communis atau jarak kaliki merupakan salah satu tanaman yang dapat menghasilkan minyak nabati. Minyak tanaman ini dapat bersumber dari bagian biji yang mengandung 75% kernel (biji) dan 25% kulit. Namun karena kandungan resin yang beracun maka minyak ini tidak dapat dikonsumsi.

Minyak jarak kaliki (*Ricinus communis*) hampir keseluruhan berada dalam bentuk trigliserida, terutama resinolenin dengan asam risinoleat sebagai komponen asam lemaknya (Setiawan dkk., 2018).

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi pertukaran gugus akil antar trigliserida (Shahab dan Husnah, 2022). Reaksi transesterifikasi umumnya berjalan lambat, sehingga diperlukan katalis untuk menurunkan energi aktivasi dengan mempercepat reaksi. Katalis yang umum digunakan adalah katalis homogen, katalis heterogen dan biokatalis (Praputri dkk., 2018). Katalis homogen yang sering digunakan yaitu kalium hidroksida (KOH), natrium hidroksida (NaOH), dan asam klorida (H_2SO_4). Penggunaan katalis ini memiliki kelemahan yaitu tidak ramah lingkungan, produk sulit dipisahkan dari katalis sehingga katalis heterogen lebih banyak digunakan (Zamhari dkk., 2019). Keutamaan penggunaan katalis heterogen yaitu lebih mudah dipisahkan pada akhir reaksi, dapat digunakan kembali, dan ramah lingkungan (Ulfa dan Samik, 2023).

Salah satu jenis katalis heterogen yang memiliki aktivitas katalitik yang digunakan sebagai proses reaksi transesterifikasi untuk produksi biodiesel adalah zeolit-A. Pada penelitian ini dipilih zeolit-A sebagai penyangga katalis. Zeolit-A memiliki kemurnian kristal produk yang tinggi dan keseragaman ukuran partikel (Nyankson *et al.*, 2018). Sintesis zeolit-A dilakukan dengan menggunakan bahan baku silika sekam padi dan *aluminium foil food grade*. Pemilihan silika sekam padi sebagai bahan baku karena silika berasal dari sekam padi dengan kemurnian sekitar 95-99% dan mengandung kadar yang cukup tinggi yakni 18 hingga 20% (Abu *et al.*, 2016; Simanjuntak *et al.*, 2016). Aluminium foil mengandung aluminium sangat tinggi hingga mencapai 98%, harganya relatif murah, mudah didapat dan mudah larut terhadap larutan basa (Tanzania, 2020).

Pada penelitian ini, sintesis zeolit-A yang dihasilkan dikarakterisasi dengan teknik *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Elektron Microscopy* (SEM), *Brunauer Emmett Teller* (BET), *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) dan *Particle Size Analyzer* (PSA) .

Hasil sintesis zeolit-A selanjutnya diuji cobakan sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi minyak jarak kepyar dengan penambahan metanol. Produk reaksi transesterifikasi dapat dioptimasi dengan mengkaji variabel kinetis reaksi yang berpengaruh terhadap tingkat konversi minyak misalnya jenis katalis, jumlah katalis, nisbah minyak terhadap alkohol, waktu reaksi, dan suhu reaksi (Bethan dan Supriyo, 2021). Kajian optimasi produk reaksi transesterifikasi secara konvensional dilakukan dengan variasi satu variabel sebagai fungsi parameter tunggal tanpa dapat mengkaitkan hubungan antara satu variabel dengan yang lainnya. Studi optimasi produk reaksi transesterifikasi yang saat ini dikembangkan adalah dengan pendekatan statistik untuk memprediksi hubungan antara beberapa variabel kinetis reaksi yang berpengaruh terhadap tingkat konversi minyak menjadi biodiesel yakni dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) (Tamoradi *et al.*, 2022, Manojkumar *et al.*, 2022, Jambulingam *et al.*, 2020).

Response Surface Methodology (RSM) adalah kumpulan teknik matematika dan statistik yang berguna untuk memodelkan dan menganalisa masalah dimana respon yang diinginkan dipengaruhi oleh banyak variabel dan tujuannya adalah untuk mengoptimalkan respon tersebut (Yudhistira dkk., 2022). Menurut Anderson dan Whitcomb (2017), proses desain dan analisa dengan RSM adalah melakukan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengevaluasi signifikansi statistik dan menguji *Lack of Fit* (LOF) serta memilih model paling sederhana yang memprediksi respon terbaik.

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan, maka pada penelitian ini dilakukan optimalisasi produk reaksi transesterifikasi dari minyak jarak kaliki (*Ricinus communis*) menggunakan katalis zeolit-A dengan studi *Response Surface Methodology* (RSM). Produk reaksi transesterifikasi akan dianalisis dengan menggunakan teknik *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengidentifikasi komponen senyawa yang terdapat dalam produk reaksi transesterifikasi.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini yaitu :

1. Mendapatkan karakterisasi zeolit-A melalui teknik XRD, SEM, BET, FTIR dan PSA.
2. Merancang *design of experiment* (DOE) menggunakan *3 level factorial design* pada reaksi transesterifikasi minyak jarak kaliki dengan metanol menggunakan zeolit-A sebagai katalis.
3. Mendapatkan kurva RSM dari hasil ANOVA.
4. Menganalisis produk reaksi transesterifikasi dengan GC-MS, serta uji viskositas, densitas, dan titik nyala untuk melihat kelayakan sebagai biodiesel.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu :

1. Memberikan suatu informasi ilmiah tentang penggunaan metode *Response Surface Methodology* (RSM) untuk penentuan kondisi optimum reaksi transesterifikasi.
2. Meningkatkan pemanfaatan sekam padi sebagai silika serta produksi biodiesel dengan cara memanfaatkan pengolahan minyak nabati seperti Minyak jarak kaliki (*Ricinus communis*).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biodiesel

Biodiesel merupakan salah satu alternatif bahan bakar minyak yang dapat diperoleh dari lemak tumbuhan dan hewan. Biodiesel merupakan monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel (Trisnaliani dkk., 2017). Biodiesel disintesis dari ester asam lemak dengan rantai karbon antara C₆- C₂₂ dengan reaksi transesterifikasi.

Tabel 1. Standar Nasional Indonesia (SNI) syarat mutu biodiesel Badan Standarisasi Nasional (BSN, 2015).

No.	Parameter Uji	Satuan	Persyaratan
1.	Massa jenis pada 40 °C	kg/m ³	850 - 890
2.	Viskositas kinematik pada 40 °C	mm/s (cSt)	2,3 - 6,0
3.	Angka setana	min	51
4.	Titik nyala (mangkuk tertutup)	°C, min	100
5.	Titik kabut	°C, maks	18
6.	Air dan sedimen	%-volume, maks	0,05
7.	Temperature distilasi 90%	°C, maks	360
8.	Abu tersulfurkan	%-massa, maks	0,02
9.	Belerang	mg/kg, maks	50
10.	Fosfor	mg/kg, maks	4
11.	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5
12.	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02
13.	Gliserol total	%-massa, maks	0,24

Biodiesel dapat digunakan dengan mudah karena dapat bercampur dengan segala komposisi dengan minyak solar, mempunyai sifat-sifat fisik yang mirip dengan solar biasa sehingga dapat diaplikasikan langsung untuk mesin-mesin diesel yang ada hampir tanpa modifikasi (Dimawarnita dkk., 2021). Biodiesel dapat diproduksi melalui reaksi antara minyak kelapa dengan alkohol menggunakan katalis heterogen. Bahan bakar alternatif biodiesel yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi antara minyak nabati atau lemak hewani yang mengandung trigliserida dengan alkohol seperti metanol dan etanol (Rastini dkk., 2022).

2.2. Minyak Biji Jarak Kaliki

Tanaman jarak kaliki merupakan tanaman tahunan yang tahan kekeringan. Tanaman ini juga mampu tumbuh dengan cepat dan kuat di lahan yang beriklim panas, tandus, dan berbatu. Wilayah yang cocok sebagai tumbuhnya adalah di dataran rendah hingga ketinggian 3000 mdpl. Tanaman ini dapat memberikan nilai ekonomis karena bijinya menghasilkan minyak sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Bahan bakar alternatif biodiesel telah banyak dilakukan dengan memakai berbagai macam minyak nabati salah satunya yaitu minyak biji jarak kaliki.

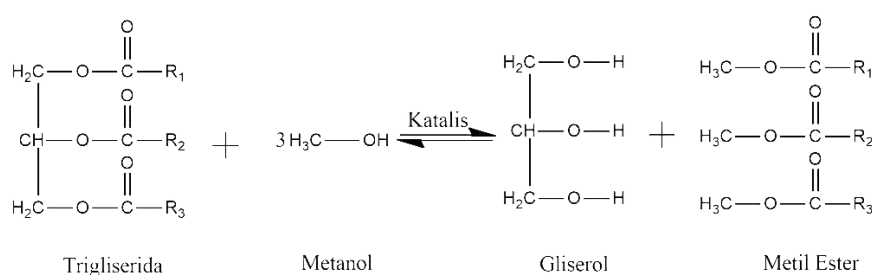
Biji jarak kaliki terdiri dari 75 % kernel (daging biji) dan 25 % kulit dengan komposisi biji jarak kepyar; minyak (75%), karbohidrat (13%), serat (12,5%), abu (2,5%), protein (18%). Adapun kandungan asam lemak dari biji jarak kaliki yaitu asam risiloneat (85%), asam oleat (8,5%), asam linoleat (3,5%), asam stearat (0,5-2,0%) dan asam dihidroksi stearat (1-2%) (Setiawan dkk., 2018).

2.3. Reaksi Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan reaksi organik dimana suatu senyawa ester diubah menjadi senyawa ester lain melalui pertukaran gugus alkohol dari ester dengan gugus alkil dari senyawa alkohol lain. Sedikit berbeda dengan reaksi hidrolisis,

pada reaksi transesterifikasi pereaksi yang digunakan bukan air melainkan alkohol. Metanol lebih umum digunakan untuk proses transesterifikasi karena harganya yang lebih murah dibandingkan alkohol lain. Namun penggunaan alkohol lain seperti etanol dapat menghasilkan hasil yang serupa. Faktor penting yang dapat mempengaruhi reaksi esterifikasi dan transesterifikasi adalah penggunaan metanol yang berlebih agar air yang terbentuk dari reaksi dapat diserap oleh metanol sehingga tidak menghalangi jalannya reaksi pengubahan asam lemak bebas menjadi metil ester (Lestari dkk., 2021).

Pada proses ini minyak nabati sebagai sumber trigliserida direaksikan dengan alkohol, menghasilkan campuran alkil ester dan gliserol dengan adanya katalis basa kuat. Ada beberapa aspek yang mempengaruhi proses transesterifikasi minyak nabati, yaitu: pemilihan katalis, rasio molar alkohol/minyak nabati, kemurnian reaktan, dan suhu (Ghifari dan Samik, 2023). Secara umum reaksi transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi transesterifikasi

2.4. Katalis

Katalis merupakan senyawa yang ketika ditambahkan ke dalam suatu reaksi kimia untuk meningkatkan laju reaksi tanpa ikut berubah secara kimia pada akhir reaksi. Katalis akan memberikan mekanisme reaksi alternatif dengan energi aktivasi yang lebih rendah dibandingkan dengan reaksi tanpa katalis (Iia dan Iib, 2020).

Katalis berperan penting didalam suatu reaksi kimia antara lain katalis dapat mempercepat reaksi, menghasilkan produk tertentu, meminimalisir produk samping atau bahkan katalis dapat memperlambat reaksi. Jumlah logam didalam katalis mempengaruhi aktivitas katalitik katalis tersebut. Jumlah logam yang terlalu sedikit atau bahkan terlalu banyak dapat memperlambat atau bahkan memperlambat suatu reaksi (Mardwita dkk., 2021). Katalis yang umum digunakan adalah katalis homogen, katalis heterogen dan biokatalis.

2.4.1. Katalis Homogen

Katalis homogen adalah jenis katalis yang mempunyai fasa yang sama dengan reaktan (Praputri dkk., 2018). Katalis homogen sulit dalam pemisahannya dengan sistem suatu reaksi karena katalis larut dalam campuran. Pemisahan tidak cukup jika dilakukan dengan penyaringan atau dekantasi. Katalis homogen umumnya bereaksi dengan satu atau lebih pereaksi untuk membentuk suatu perantara kimia yang selanjutnya bereaksi membentuk produk akhir reaksi, dalam suatu proses yang memulihkan katalisnya.

2.4.2. Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah jenis katalis yang mempunyai fase yang tidak sama dengan reaktan. Jenis katalis homogen yang banyak digunakan adalah katalis asam (HCl , H_2SO_4 , dan HNO_3), sedangkan jenis katalis heterogen adalah zeolit (Praputri dkk., 2018). Katalis menyediakan jalan reaksi alternatif dengan energi aktivasi (energi minimum yang dibutuhkan campuran untuk menghasilkan produk) yang lebih kecil dari pembentukan intermediet reaktif di permukaan katalis, dimana banyak terjadi reaksi atomik atau molekular. Katalis juga mampu mempengaruhi faktor kinetik reaksi seperti kecepatan reaksi, energi aktivasi, dan keadaan intermediet (Iia dan Iib, 2020).

Beberapa contoh katalis heterogen yang sudah digunakan dalam proses transesterifikasi misalnya MgO , SrO , Zeolit, ZnO , TiO_2 , CaO , CaCO_3 , dan Al_2O_3 . Dari beberapa contoh katalis heterogen, zeolit merupakan senyawa mineral dengan rasio Si/Al sebesar 1,23 yang memiliki struktur berongga dan biasanya diisi oleh air dan kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu (Zamhari dkk., 2019).

2.4.3. Biokatalis

Enzim adalah biokatalisator yang berfungsi sebagai katalis dalam fungsi biologis. Secara umum, enzim menghasilkan kecepatan, spesifikasi, dan kendali pengaturan terhadap reaksi dalam tubuh. Enzim berfungsi sebagai katalisator yaitu senyawa yang meningkatkan reaksi kimia, suatu enzim dapat mempercepat laju reaksi 10^8 - 10^{11} kali lebih cepat dibandingkan ketika reaksi tidak menggunakan katalis dengan efisiensi kerja yang diakibatkan oleh enzim maka muncul suatu inovasi baru bernilai ekonomis berasal dari sumber daya perairan (Putra dkk., 2021).

Lipase merupakan protein kompleks yang berfungsi sebagai biokatalisator. Fungsi enzim sebagai biokatalisator yaitu mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi sehingga reaksi dapat berlangsung lebih cepat pada suhu atau kondisi normal. Setiap enzim memiliki spesifitas terhadap substratnya. Sifat khas inilah yang menjadi ciri khusus yang dimiliki oleh enzim. Lipase berfungsi sebagai katalisator dalam hidrolisis lemak menjadi asam lemak dan gliserol (Sholeha dan Agustini, 2021).

2.5. Zeolit

Zeolit adalah suatu jenis mineral kristal yang terbentuk oleh tetrahedral silika dan alumina yang saling terhubung melalui atom-atom oksigen, membentuk kerangka tiga dimensi yang berpori. Kerangka ini mengandung rongga-rongga yang dapat

diisi oleh ion-ion logam, biasanya logam alkali atau alkali tanah, serta molekul air yang dapat bergerak bebas di dalamnya (Dewi dkk., 2016). Zeolit dimanfaatkan sebagai katalis karena memiliki karakteristik yang sesuai untuk suatu reaksi katalitik, seperti permukaan yang berpori dengan luas permukaan yang besar. Memiliki sifat asam yang merupakan salah satu syarat utama katalis, dan sifat permukaan zeolit dapat dimodifikasi (Simanjuntak *et al.*, 2021).

Secara umum zeolit mampu menyerap, menukar ion dan menjadi katalis, sehingga digunakan untuk keperluan alternatif pengolahan limbah yakni zeolit sintesis (Deviani dkk., 2018).

2.5.1. Zeolit Sintesis

Zeolit sintesis adalah zeolit yang dibuat sedemikian rupa sehingga diperoleh karakter yang lebih baik dari zeolit alam. Zeolit sintesis mempunyai kristalinitas baik serta kation yang ada dalam situs permukaannya hanya tertentu (H^+ , Na^+) (Yunita dkk., 2019). Beberapa ahli menamakan zeolit sintetis sama dengan nama mineral zeolit alam dengan menambahkan kata sintetis di belakangnya, dalam dunia perdagangan muncul nama zeolit sintetis seperti zeolit A, zeolit K-C dan lain sebagainya.

Menurut Saputra dan Intisari (2016), zeolit sintetis sangat bergantung pada jumlah Al dan Si, sehingga ada 3 kelompok zeolit sintetis:

1. Zeolit sintetis dengan kadar Si rendah

Zeolit jenis ini banyak mengandung Al, berpori, mempunyai nilai ekonomi tinggi karena efektif untuk pemisahan dengan kapasitas besar. Volume porinya dapat mencapai $0,5 \text{ cm}^3$. Contohnya zeolit A dan X.

2. Zeolit sintetis dengan kadar Si sedang

Jenis zeolit modernit mempunyai perbandingan $Si/Al = 5$ sangat stabil, maka diusahakan membuat zeolit Y dengan perbandingan $Si/Al = 1-3$. Contoh zeolit sintetis jenis ini adalah zeolit omega.

3. Zeolit sintetis dengan kadar Si tinggi

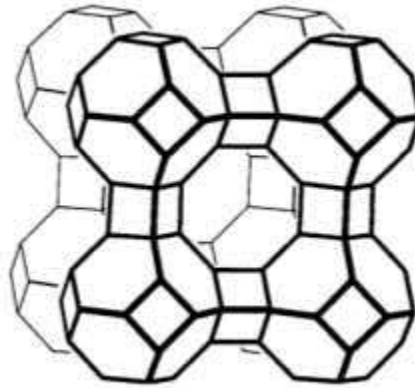
Zeolit jenis ini sangat higroskopis dan menyerap molekul non polar sehingga baik untuk digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Zeolit jenis ini misalnya zeolit ZSM-5, ZSM-11, ZSM-21, ZSM-24.

2.5.2. Zeolit-A

Zeolit A merupakan suatu mineral anorganik yang berupa kristal dengan rumus kimia $\text{Na}_{12}(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$ yang tersusun dari tiga komponen yaitu aluminosilikat, kation yang dapat dipertukarkan, dan air. Zeolit A pada aplikasinya dapat digunakan sebagai adsorben, katalis, membran, maupun penukar ion. Zeolit A sebagai membran mampu untuk memisahkan molekul organik seperti etanol dan metanol dari air. Sebagai penukar ion, zeolit A memiliki kapasitas tukar kation yang cukup tinggi sehingga dapat dipertukarkan dengan logam yang mencemari lingkungan (Yani dkk., 2013).

Zeolit-A sebagai adsorben dapat digunakan untuk menghilangkan beberapa logam berat dari air limbah. Sebagai katalis, zeolit ini dapat digunakan pada reaksi transesterifikasi untuk mengubah minyak nabati menjadi biodiesel, yang dikenal sebagai bahan bakar cair terbarukan (Simanjuntak *et al.*, 2021).

Berdasarkan (Simanjuntak *et al.*, 2021) zeolit-A disintesis menggunakan metode hidrotermal, dengan bahan dasar silika sekam padi sebagai sumber silika dan *aluminium foil food grade* sebagai prekursor alumina. Berikut merupakan kerangka dari zeolit-A:



Gambar 2. Kerangka zeolit-A

2.6. Silika Sekam Padi

Sekam padi merupakan salah satu produk 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). Silika terdapat dalam bentuk amorf (tak beraturan) atau polikristal (bentuk kristal yang berbeda-beda). 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 (Trianasari dkk., 2017).

2.7. Karakterisasi zeolit-A

Karakterisasi katalis zeolit-A dilakukan untuk mendapatkan pemahaman tentang sifat-sifat katalis yang dihasilkan. Unsur-unsur pada katalis zeolit-A dapat diidentifikasi persentase kristalinitas dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Morfologi permukaan dapat dianalisis dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan luas permukaan, volume total pori, ukuran jari-jari pori dapat dikarakterisasi melalui metode *Brunauer Emmett Teller* (BET). Analisa gugus fungsional yang terdapat pada sampel dapat dianalisis dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan untuk mengukur suatu ukuran partikel dalam sampel dapat dianalisis dengan menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA).

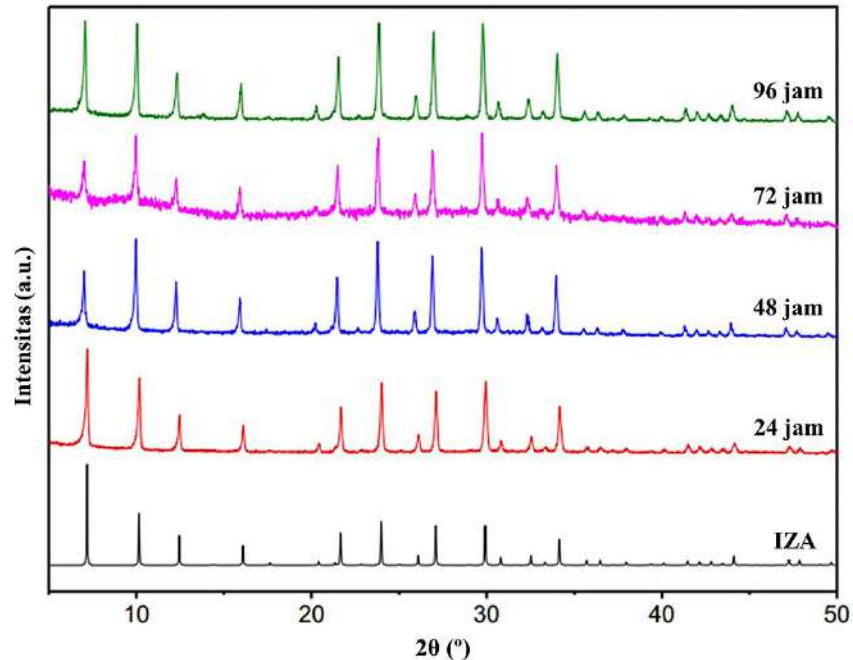
2.7.1. X-Ray Diffraction (XRD)

Spektroskopi difraksi sinar-X (*X-ray diffraction*/XRD) merupakan salah satu metode karakterisasi material paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel dari nanokristal. XRD sangat berguna untuk mempelajari struktur kristal, komposisi kimia, dan sifat sifat fisika dari nanomaterial (Putama, 2018).

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.

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.



Gambar 3. Pola XRD zeolit-A hasil sintesis

Sintesis zeolit-A dari silika sekam padi dan *aluminum foil*. 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 dari hasil sintesis zeolit-A dengan variasi waktu *aging* dan standar IZA (Herliana *et al.*, 2021) seperti pada gambar 3.

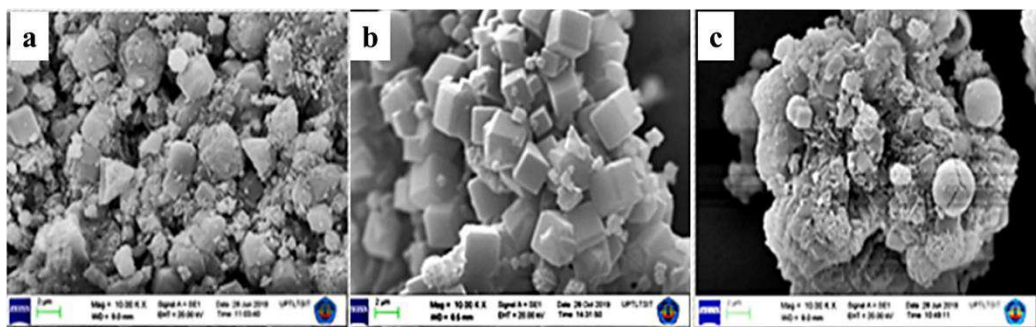
2.7.2. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan teknik karakterisasi material yang banyak digunakan untuk melihat morfologi permukaan partikel sampai pada ukuran 1 nm. SEM adalah suatu metode yang digunakan untuk meneliti bentuk maupun struktur mikro permukaan dari suatu objek yang tidak bisa dilihat oleh

mata atau mikroskop optik dengan menggunakan mikroskop *electron*. Rentang pembesarannya yang besar dan gambarnya dalam 3 dimensi membuat hasil karakterisasi sampel dengan menggunakan SEM ini menjadi lebih mudah untuk diamati dan dianalisa (Putama, 2018).

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.

Morfologi permukaan sampel 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 fase sodalit. Karakterisasi menggunakan SEM ini, menunjukkan bahwa proses kristalisasi selama 72 jam menghasilkan pembentukan kristal zeolit-A yang optimum (Simanjuntak *et al.*, 2021). Berikut dapat dilihat pada gambar 4



Gambar 4. Mikrograf zeolit-A dengan variasi waktu kristalisasi (a) 48 jam, (b) 72 jam, dan (c) 96 jam

2.7.3. *Brunauer Emmett Teller (BET)*

Brunauer Emmett Teller (BET) merupakan karakterisasi yang dilakukan untuk mengetahui luas permukaan spesifik, volume dan diameter pori dari produk yang dihasilkan. Peristiwa pelepasan molekul, ion dari permukaan zat padat yang telah berikatan dengan gugus aktif adsorben disebut dengan desorpsi. Gejala yang diamati pada desorpsi berupa desorpsi lapisan molekul tunggal, adsorpsi lapisan molekul ganda dan kondensasi dalam kapiler. Menurut Zulichatun dkk.,(2015), persamaan BET dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{1}{W\left[\left(\frac{P_o}{P}\right) - 1\right]} = \frac{1}{WmC} + \left[\frac{C - 1}{WmC}\right] \frac{P}{P_o}$$

Keterangan :

W = Berat gas yang diserap pada tekanan relative P/Po

Wm = Berat gas nitrogen yang membentuk lapisan tunggal

P = Tekanan kesetimbangan adsorpsi

Po = Tekanan uap jenuh adsorpsi

C = konstanta energi

2.7.4. *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*

FTIR merupakan suatu teknik analisis yang digunakan untuk melihat atom-atom dalam sebuah molekul melalui vibrasi-vibrasi yang ditimbulkan oleh atom tersebut. Untuk dapat melihat atom-atom tersebut diperlukan suatu spektrum IR yang diperoleh dengan cara menembakkan radiasi sinar inframerah ke sampel menentukan fraksi apa yang terjadi saat melewati radiasi yang terabsorpsi dengan energi khusus.

Karakterisasi FTIR memiliki berbagai aplikasi yang luas. Hal ini digunakan untuk mengidentifikasi senyawa kimia, baik dalam bentuk padat, cair, maupun gas, serta

untuk menganalisis polimer, material organik, dan interaksi material dengan lingkungannya. Selain itu, teknik ini mendukung pemahaman tentang reaksi kimia, studi struktur molekul, dan pemantauan perubahan dalam reaksi seiring waktu. FTIR memiliki peran penting dalam ilmu kimia, ilmu material, biologi, dan banyak disiplin ilmu lainnya yang memerlukan pemahaman mendalam tentang sifat dan struktur molekul.

Daerah inframerah pada spektrum gelombang elektromagnetik dimulai dari panjang gelombang 14000 cm^{-1} hingga 10^{-1} . Berdasarkan panjang gelombang tersebut daerah inframerah dibagi menjadi tiga daerah, yaitu IR dekat ($14000\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$) yang peka terhadap vibrasi overtone, IR sedang ($4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$) berkaitan dengan transisi energi vibrasi dari molekul yang memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut, dan IR jauh ($400\text{--}10\text{ cm}^{-1}$) untuk menganalisis molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawa anorganik tapi butuh teknik khusus.

Prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara energi dan materi. Infrared yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Kemudian beberapa infrared diserap oleh sampel dan yang lainnya di transmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar infrared lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer dan direkam dalam bentuk puncak-puncak (Wulan dan Fajri, 2018).

2.7.5. Particle Size Analyzer (PSA)

Karakterisasi menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) digunakan untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel dari suatu sampel. Metode PSA baik digunakan untuk ukuran partikel yang kasar dimana hubungan antar partikel lemah dan kemungkinan untuk beraglomerasi kecil. Berdasarkan metode tersebut, metode PSA diklasifikasikan menjadi metode basah dan metode kering. Untuk sudut kecil dan sebaliknya, sudut yang terbentuk melewati salah satu dari dua

detektor (detektor sudut belakang dan detektor sudut kanan) kemudian diteruskan ke pengolahan data, dihasilkan kurva yang mewakili distribusi ukuran partikel sampel (Desiati dkk., 2018).

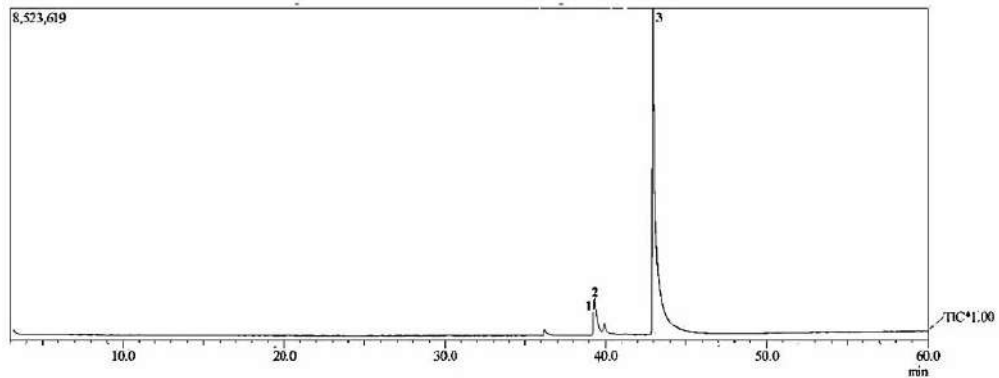
2.8. Karakterisasi Biodiesel

Biodiesel hasil reaksi transesterifikasi akan dikarakterisasi untuk mengetahui karakteristik biodiesel yang diperoleh, meliputi analisis komposisi biodiesel yang diperoleh dengan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) dan karakteristik fisik seperti, titik nyala (*flash point*), densitas, dan viskositas.

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

Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) adalah metode untuk memisahkan senyawa organik dengan menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa atau komponen dalam suatu campuran secara kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. GC-MS memiliki prinsip kerja yaitu molekul-molekul gas bermuatan akan diseleksi berdasarkan massa dan beratnya, spektrum yang didapat dari pengubahan sampel menjadi ion-ion yang bergerak, kemudian dipisahkan berdasarkan perbandingan massa terhadap muatan (m/e) (Riyanti, 2019).

Pada analisis GC-MS untuk biodiesel dengan bahan minyak tumbuhan diperoleh puncak-puncak yang menunjukkan nama senyawa yang ada pada biodiesel tersebut. Data yang diperoleh dari tiap puncak diberi nama senyawa mulai puncak yang pertama sampai pada puncak yang terakhir beserta dengan waktu retensi, rumus molekul, serta area yang terbentuk (Pandiangan *et al.*, 2019). Berikut contoh kromatogram GC-MS biodiesel dari minyak jarak.



Gambar 5. Kromatogram GC-MS

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 yang terlalu tinggi akan menyebabkan keterlambatan penyalaan sedangkan jika titik nyala terlalu rendah akan menyebabkan timbulnya denotasi yaitu ledakan kecil yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ruang bakar. Titik nyala berdasarkan standar bahan bakar solar dan SNI7182:2015 biodiesel yakni minimal 100 °C. Uji cawan terbuka Cleveland (ASTM D 92-90) digunakan untuk menentukan titik nyala dari minyak atau bahan bakar, kecuali minyak yang memiliki titik nyala cawan terbuka di bawah 79°C (Riyanti, 2019).

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 dkk., 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. Berikut menurut (Satria, 2017) rumus untuk menghitung kerapatan suatu fluida atau densitas

$$p = \frac{m}{v}$$

Keterangan :

P = densitas (kg/m³)

M = massa (kg)

V = volume (m³)

2.8.4. Viskositas

Viskositas dalam zat cair yang berperan adalah gaya kohesi antar partikel zat cair, sedangkan dalam zat gas, viskositas disebabkan oleh tumbukan antara molekul. Kekentalan merupakan sifat cairan yang berhubungan dengan hambatan untuk mengalir. Beberapa cairan ada yang dapat mengalir dengan cepat namun ada yang mengalir secara lambat. Fluida yang mengalir lambat seperti gliserin, madu dan minyak atso, ini dikarenakan mempunyai viskositas besar. Jadi viskositas menentukan kecepatan mengalirnya cairan (Lumbantoruan dan Yulianti, 2016).

Viskositas kinematik adalah salah satu parameter untuk menentukan mutu atau karakteristik biodiesel yang diperoleh. Viskositas kinematik yang disarankan untuk biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015 berkisar antara 2,3-6,0 mm/s pada suhu 40 °C yang diukur dengan metode uji ASTM D-445. Menurut Riyanti (2019), nilai viskositas kinematik dapat diperoleh dengan rumus berikut:

$$v = C \times t$$

Keterangan:

v = viskositas kinematik, dinyatakan dalam cSt (mm²/detik)

C = konstanta viskometer, dinyatakan dalam cSt/detik(mm²/detik)

t = waktu alir, dinyatakan dalam detik (s)

2.9. Response Surface Methodology (RSM)

Response Surface Methodology (RSM) adalah kumpulan teknik matematika dan statistik yang berguna untuk memodelkan dan menganalisa masalah dimana respon yang diinginkan dipengaruhi oleh banyak variabel dan tujuannya adalah untuk mengoptimalkan respon tersebut (Yudhistira dkk., 2022).

Response Surface Methodology (RSM) membantu peneliti dalam menentukan faktor optimal yang diperlukan untuk menghasilkan hasil terbaik. RSM dapat diterapkan oleh industri yang ingin memproduksi komponen (dari bahan paduan Al-Si) dengan kekasaran permukaan minimum dengan menggabungkan tiga variabel yang dapat dikontrol. *Design of Experiments* (DOE) dipilih karena dapat digunakan untuk pengaruh ketiga variabel pemesinan (terhadap kekasaran permukaan (Ra) Al-Si dapat dibagi melalui ANOVA.

Response Surface Methodology (RSM) bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap respon, mendapatkan model hubungan antara variabel bebas dan respon serta mendapatkan kondisi proses yang menghasilkan respon terbaik. Keuntungan menggunakan RSM, yaitu dapat mempermudah pencarian wilayah optimum yang efektif dan efisien. Hubungan antara respon dan perlakuan dapat dilihat dengan mencari bentuk hubungannya. Pada RSM, dimungkinkan untuk merepresentasikan parameter proses dalam bentuk kuantitatif dengan persamaan :

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_m) \pm \varepsilon \quad 1$$

Keterangan:

Y = respons

F = fungsi respons

ε = galat percobaan

X_m = variabel independen

Bentuk hubungan linear merupakan suatu bentuk hubungan antara respon dengan perlakuan dari linear sehingga pendekatan fungsinya disebut *first-order model* (model pertama) seperti ditunjukkan dalam rumus di bawah ini :

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon \quad 2$$

Keterangan:

$\hat{y}$ = nilai respon

β_0 = intersep

β_1, β_2 = koefisien regresi variabel X_1, X_2

ε = *error*

Jika bentuk hubungannya merupakan kuadrat, maka pendekatan fungsinya disebut *second-order model* (model kedua) seperti ditunjukkan dalam rumus :

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon \quad 3$$

Keterangan:

$\hat{y}$ = nilai respon

β_0 = intersep

β_1 = koefisien linier

β_{11} = koefisien kuadratik

β_{12} = koefisien interaksi perlakuan

x_1 = kode perlakuan faktor ke-1

x_2 = kode perlakuan faktor ke-2

ε = *error*

Analisis respons permukaan dilakukan setelah proses optimasi, dengan memanfaatkan metode permukaan respons yang sesuai. Apabila prediksi yang dihasilkan oleh fungsi respons permukaan sesuai dengan hasil respons sebenarnya, maka analisis ini akan mencerminkan sistem yang sebenarnya. Prediksi parameter model dapat berhasil dilakukan ketika eksperimen dilakukan dengan desain eksperimental yang sesuai.

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 dkk., 2016).

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).

Uji ANOVA adalah uji hipotesis statistik berdasarkan kesimpulan dari data atau kelompok statistik inferentif. Hipotesis nol dari uji ANOVA adalah data *simple* random dari populasi yang sama sehingga memiliki ekspektasi *mean* dan varians yang sama. Hipotesis nolnya adalah semua perlakuan akan memiliki efek yang sama. Dalam uji ANOVA harus menghitung statistik uji (*F-rasio*) untuk menguji pernyataan bahwa kelompok yang dibandingkan memiliki kesamaan atau tidak. Bahasa statistik hipotesis uji ANOVA dapat ditulis seperti

$$H_0 = M_1 = M_2 = M_3$$

Untuk menguji H_0 perlu menarik sampel secara acak dan menetapkan ukuran (variable dependen), kemudian melihat apakah ukuran-ukuran tersebut berbeda untuk berbagai kondisi. Jika berbeda maka H_0 ditolak, selanjutnya uji statistik

diukur melalui F-statistik yang melebihi F table dengan tingkat kepercayaan tertentu. Cara lain dapat dilakukan dengan melihat p-value (nilai probabilitas) yang mana lebih rendah dari 5% (Septiadi dan Ramadhani, 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2023 hingga Maret 2024, bertempat di Laboratorium Kimia Anorganik dan Kimia Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi SEM zeolit-A dilakukan di Unit Pelayanan Teknis Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Dan Teknologi (UPT LTSIT) Universitas Lampung, karakterisasi XRD dan FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia Gedung Terpadu Universitas Negeri Padang (UNP), karakterisasi BET dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Bandung (ITB), karakterisasi PSA dilakukan di Laboratorium Universitas Indonesia dan analisis GC-MS biodiesel dilakukan di Laboratorium Universitas Gajah Mada (UGM).

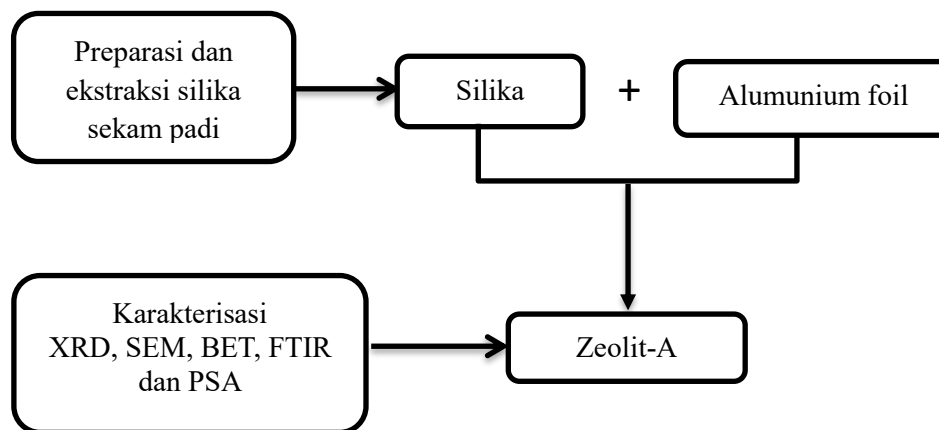
3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, saringan mesh 200 nm, *lock n lock*, gelas ukur, gelas beaker, mortar dan alu, labu bundar, corong gelas, oven, termometer, tanur, corong pisah, Erlenmeyer, seperangkat alat refluks, *hot plate* dan *magnetic stirrer*, batang pengaduk, spatula, autoklaf, klem dan statif, *Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry* (GC-MS), *Scanning Elektron Microscopy* (SEM), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) dan *Particle Size Analyzer* (PSA) dan *Brunauer Emmett Teller* (BET).

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu, sekam padi, NaOH teknis 1,5%, HNO₃ 10%, metanol pa, minyak biji jarak kepyar, akuades, *aluminium foil food grade*, NaOH pa, pH indikator universal, kertas saring, dan *tissue*.

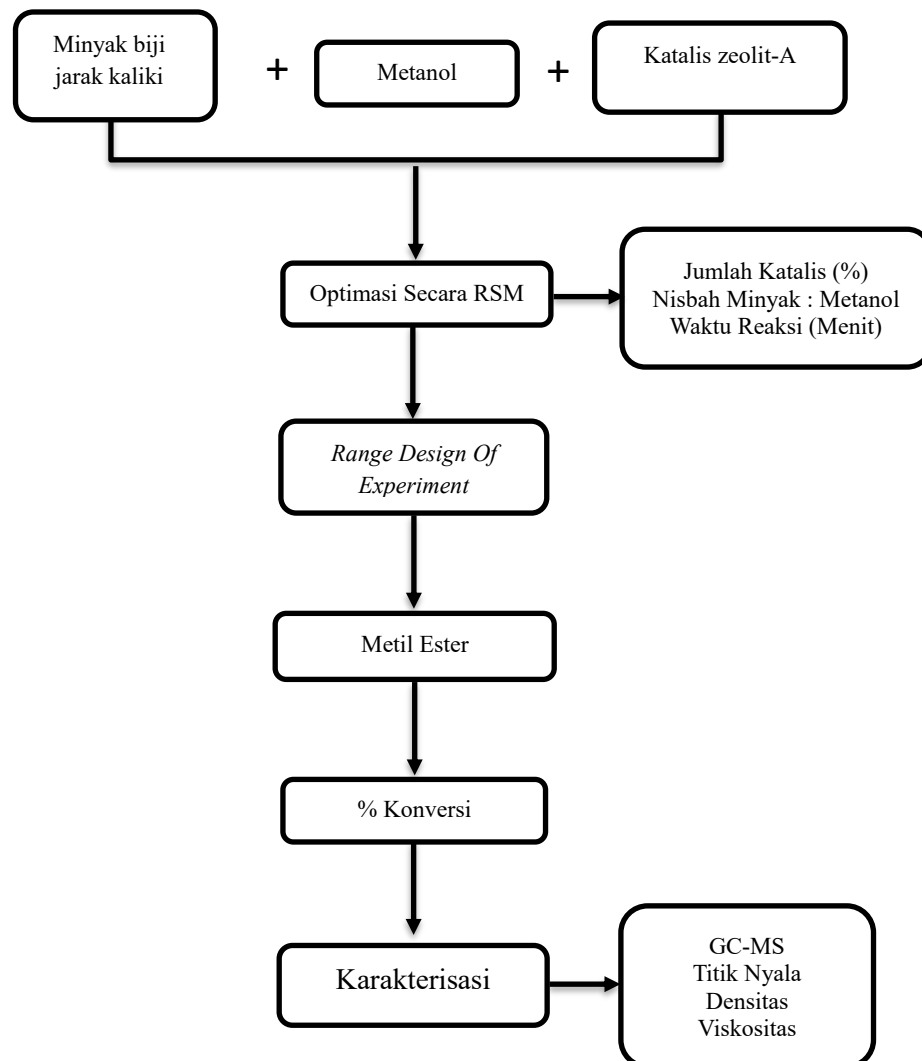
3.3. Diagram Alir

3.3.1. Sintesis dan Karakterisasi Katalis



Gambar 6. Diagram alir sintesis dan karakterisasi katalis

3.3.2. Transesterifikasi Minyak Jarak Kaliki Dengan Katalis zeolit-A



Gambar 7. Diagram alir transesterifikasi

3.4. Prosedur Kerja

3.4.1 Preparasi Sekam Padi

Sekam padi dicuci menggunakan air beberapa kali untuk membuang kotoran dan sekam padi yang mengambang. Pencucian dilakukan hingga air cucian sekam padi menjadi bening. Sekam padi yang tenggelam dan telah bersih kemudian

dikeringkan dengan cara dijemur hingga kering. Pembuatan silika sekam padi kering dan bersih selanjutnya digunakan sebagai bahan baku untuk ekstraksi silika.

3.4.2. Ekstraksi Silika Sekam Padi

Ekstraksi silika dari sekam padi mengadopsi metode yang telah dilakukan oleh Pandiangan *et al* (2021). Sekam padi kering ditimbang sebanyak 50 gram ditambahkan 500 mL larutan NaOH 1,5%, diaduk hingga tercampur merata kemudian dipanaskan hingga mendidih, dan dipertahankan selama 30 menit. Filtrat dan residu hasil ekstraksi dikumpulkan dalam wadah, dan *diaging* selama 24 jam. Filtrat dan residu dipisahkan, setelah itu filtrat yang dihasilkan ditambahkan HNO₃ 10% hingga pH netral dan menjadi gel. Gel kemudian *diaging* selama 24 jam, setelah itu gel dicuci dengan air hangat hingga putih. Gel dicuci, selanjutnya gel dimasukkan dalam oven selama 12 jam dengan suhu 100 °C hingga kering. Gel yang sudah kering kemudian digerus dan diayak dengan saringan ukuran mesh 200 nm. Bubuk yang dihasilkan merupakan silika sekam padi.

3.4.3. Sintesis Zeolit-A

Sintesis zeolit-A dilakukan secara hidrotermal dengan mengadopsi penelitian yang telah dilaporkan oleh (Herliana *et al.*, 2021; Simanjuntak *et al.*, 2021). NaOH pa ditimbang sebanyak 20 gram kemudian dilarutkan dalam 300 mL akuades. NaOH larut kemudian ditambahkan sebanyak 30 gram silika sekam padi dan diaduk selama 3 jam, selanjutnya disaring dengan kertas saring. Larutan natrium silikat yang dihasilkan *diaging* selama 24 jam. *Aluminium foil grade food* yang telah dipotong kecil-kecil ditimbang sebanyak 13,5 gram dan dilarutkan dalam larutan natrium silikat sedikit demi sedikit. Larutan *aluminium* distirer selama 3 jam. Larutan kemudian dimasukkan dalam autoklaf dan *diaging* selama 24 jam, lalu dikristalisasi dalam oven dengan suhu 100°C selama 72 jam. Sampel dikeluarkan dari oven dan didinginkan, selanjutnya dicuci dengan

akuades hingga pH netral. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven, digerus dan diayak dengan saringan ukuran mesh 200 nm. Bubuk sampel yang dihasilkan kemudian dikalsinasi pada suhu 550°C selama 6 jam. Bubuk yang dihasilkan merupakan zeolit-A dan selanjutnya dikarakterisasi dengan XRD, SEM, BET, FTIR dan PSA.

3.5. Karakterisasi zeolit-A

Karakterisasi zeolit-A dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari katalis yang dihasilkan. Analisis XRD digunakan untuk menentukan fasa kristal dan amorf secara kualitatif dan kuantitatif, persen kristalinitas, dan struktur kristal. Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) digunakan untuk melihat morfologi permukaan. Untuk menentukan ukuran partikel dan distribusi partikel dikarakterisasi menggunakan *Particle Size Analyser* (PSA). Karakterisasi dengan FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dari zeolit-A dan ikatan yang terbentuk. Luas permukaan, volume total pori, serta jari-jari pori dapat dikarakterisasi dengan menggunakan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET).

3.5.1. X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi XRD digunakan untuk fasa kristal dan amorf secara kualitatif dan kuantitatif, persen kristalinitas, dan struktur kristal. Hasil XRD akan memberikan data difraktogram yang memberikan informasi mengenai struktur dan fasa yang ada pada sampel berdasarkan letak sudut 2θ . Zeolit-A hasil sintesis dibandingkan dengan standar *International Zeolite Association* dan sebagai acuan dan zeolit-A dianalisis untuk mengidentifikasi fasa kristal dalam sampel. Karakterisasi ini dilakukan di Universitas Negeri Padang (UNP), dengan mengikuti prosedur yang ditetapkan oleh instansi tersebut. Difraktometer yang digunakan yaitu tipe Xpert MPD. Pola XRD yang dihasilkan setelah pemindaian radiasi Cu-K α ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) dengan energi 40 kV dan arus 30 mA.

3.5.2. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Karakterisasi SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel, melihat bentuk, struktur, serta distribusi pori pada permukaan bahan dengan resolusi tinggi. Pada karakterisasi SEM dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung, dengan mengikuti prosedur yang diterapkan oleh institusi tersebut. Alat yang digunakan untuk karakterisasi yaitu ZEISS EVO MA 10, yang dioperasikan pada 8 kV dengan 28 tegangan percepatan elektron 20 kV. Zeolit-A hasil sintesis dipindai pada perbesaran; 5.000; 10.000x, 15.000x dan 25.000x untuk mendapatkan tampilan permukaan yang lebih baik.

3.5.3. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Karakterisasi FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi, vibrasi Si-O-Si, regangan vibrasi yang terjadi pada zeolit-A berdasarkan bilangan gelombang yang dihasilkan. Pada karakterisasi FTIR dilakukan di Universitas Padang (UNP), dengan mengikuti prosedur yang ditetapkan oleh instansi tersebut. Pengukuran FTIR dilakukan pada bilangan gelombang 4000-400 cm.

3.5.4 *Particle Size Analyzer (PSA)*

Analisis ukuran partikel (PSA) digunakan untuk mengidentifikasi distribusi ukuran partikel pada katalis zeolit-A hasil sintesis untuk digunakan dalam reaksi transesterifikasi CPO. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Sentra Universitas Padjadjaran (UNPAD) sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh universitas. Instrumen yang digunakan adalah PSA tipe Beckman Coulter LS 13 320 dengan aquades sebagai media pendispersi. Sampel dalam bentuk serbuk dilarutkan ke dalam media cair untuk mendapatkan kurva distribusi ukuran partikel yang akurat.

3.5.5 Brunauer-Emmett-Teller (BET)

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

3.6. Uji Transesterifikasi Minyak Biji Jarak Kaliki Dengan Katalis zeolit-A

Pada proses reaksi transesterifikasi terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi. Oleh karena itu, faktor-faktor yang mempengaruhi akan dianalisis menggunakan teknik optimasi RSM. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan kondisi reaksi mengikuti *Design of Experiment* (DOE) dari perangkat lunak, yang dapat dilihat pada Tabel 3. Metode yang digunakan pada reaksi transesterifikasi yaitu metode refluks, yang diawali dengan memasukkan minyak biji jarak 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. Konversi yang diperoleh kemudian dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

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

Uji transesterifikasi dilakukan dengan katalis zeolit-A. 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 dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Rentang dan level untuk CCD.

Variabel independen	Rentang dan level		
	-1	0	1
Jumlah katalis (%)	2,5	5	7,5
Nisbah minyak:metanol	3	4,5	6
Waktu reaksi (menit)	15	37,5	60

Tabel 3. Design of experiment (DOE).

Percobaan	A: Jumlah katalis	B: Nisbah minyak:metanol	C: Waktu reaksi (menit)
1	5 (0)	4,5 (0)	37,5 (0)
2	2,5 (-1)	3 (-1)	15 (-1)
3	5 (0)	3 (-1)	15 (-1)
4	7,5 (1)	6 (1)	15 (-1)
5	2,5 (-1)	4,5 (0)	60 (1)
6	5 (0)	3 (-1)	37,5 (0)
7	5 (0)	4,5 (0)	60 (1)
8	2,5 (-1)	6 (1)	37,5 (0)
9	7,5 (1)	4,5 (0)	37,5 (0)
10	7,5 (1)	6 (1)	60 (1)
11	5 (0)	6 (1)	15 (-1)
12	2,5 (-1)	4,5 (0)	37,5 (0)
13	7,5 (1)	4,5 (0)	15 (-1)
14	2,5 (-1)	6 (1)	60 (1)
15	7,5 (1)	3 (-1)	60 (1)
16	5 (0)	3 (-1)	37,5 (0)
17	2,5 (-1)	4,5 (0)	60 (1)
18	5 (0)	6 (1)	15 (-1)
19	2,5 (-1)	6 (1)	60 (1)
20	7,5 (1)	6 (1)	15 (-1)

Hasil dari DOE yang dianalisis menggunakan ANOVA kemudian dilakukan uji hipotesis. Penelitian ini menggunakan hipotesis model prasyarat tolak H_0 jika $p\text{-value} < 0,05$, serta tidak tolak H_0 jika $p\text{-value} > 0,05$.

3.7. Karakterisasi Biodiesel

Biodiesel yang diperoleh, kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui kandungan metil ester yang didapatkan. 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. Berikut merupakan tabel dari syarat mutu biodiesel sesuai dengan SNI.

Tabel 4. Standar Nasional Indonesia (SNI) syarat mutu biodiesel Badan Standarisasi Nasional (BSN, 2015).

No.	Parameter Uji	Satuan	Persyaratan
1.	Massa jenis pada 40 °C	kg/m ³	850 - 890
2.	Viskositas kinematik pada 40 °C	mm/s (cSt)	2,3 - 6,0
3.	Angka setana	min	51
4.	Titik nyala (mangkuk tertutup)	°C, min	100
5.	Titik kabut	°C, maks	18
6.	Air dan sedimen	%-volume, maks	0,05
7.	Temperature distilasi 90%	°C, maks	360
8.	Abu tersulfurkan	%-massa, maks	0,02
9.	Belerang	mg/kg, maks	50
10.	Fosfor	mg/kg, maks	4
11.	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5
12.	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02
13.	Gliserol total	%-massa, maks	0,24
14.	Kadar ester metil	%-massa, min	96

3.7.1. Analisis *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS) Biodiesel Transesterifikasi

Produk yang dihasilkan dari uji transesterifikasi dianalisis dengan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS). Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi komponen dalam sampel dan secara khusus

untuk melihat apakah senyawa-senyawa dalam sampel mampu diubah menjadi hidrokarbon. 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 pada komputer monitor dan printer dihidupkan.
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 *closetuning*.
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 dianalisis. Kemudian dipilih *display spectrum search* pada puncak tertentu dan dilakukan *report* pada bagian yang diinginkan.
10. Mengakhirinya dengan dilakukan 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.

3.7.2. Titik Nyala (*Flash Point*)

Langkah-langkah untuk analisis titik nyala biodiesel adalah sebagai berikut:

1. Cawan dibersihkan dan dikeringkan sebelum digunakan.

2. Sampel dimasukkan ke dalam cawan hingga batas yang telah ditentukan.
3. Cawan selanjutnya dipanaskan dengan bunsen dan pada bibir cawan dibakar.
4. Sampel kemudian perlahan diukur temperatur sampel.
5. Proses ini dilakukan hingga muncul nyala api pada sampel.
6. Muncul nyala, setelah itu temperatur sampel dicatat sebagai titik nyala sampel.

3.7.3. Densitas

Penentuan densitas didasarkan pada perbandingan massa sampel tanpa udara pada suhu dan volume tertentu dengan massa air pada suhu dan volume yang sama.

Langkah-langkah untuk analisis densitas biodiesel adalah sebagai berikut:

1. Piknometer kosong dicuci dengan metanol dan dikeringkan di dalam oven kemudian ditimbang
2. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam piknometer yang sebelumnya telah dibersihkan dan dikeringkan hingga meluap dan tidak terbentuk gelembung udara.
3. Piknometer yang berisi sampel ditimbang (berat sampel diperoleh dengan menghitung selisih berat piknometer berisi sampel dan berat piknometer kosong).

Densitas dapat dihitung dengan rumus:

$$Densitas = \frac{W_2 - W_1}{pair}$$

Keterangan:

W_1 = berat piknometer kosong (g)

W_2 = berat piknometer dan biodiesel (g)

$pair$ = densitas air (g/mL)

3.7.4. Viskositas

Viskositas diukur dengan menggunakan viskometer *Ostwald* di bawah pengaruh gravitasi pada suhu yang telah ditentukan. Langkah-langkah untuk analisis viskositas biodiesel 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 dibiarkan turun serta dihitung waktu sampai tanda batas.
5. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Zeolit-A berhasil disintesis dibuktikan dengan hasil karakterisasi XRD yang menunjukkan adanya puncak-puncak zeolit-A dan puncak fase lain, hal ini didukung dengan hasil karakterisasi SEM yang menunjukkan terbentuknya kristal zeolit-A dan kristal fase lain. Karakterisasi FTIR menentukan adanya keberhasilan ikatan antar atom dan mengetahui gugus-gugus fungsi pada sampel dan karakterisasi PSA menjelaskan bahwa zeolit-A memiliki ukuran partikel yang heterogen serta pori berukuran meso berdasarkan hasil karakterisasi BET.
2. Reaksi transesterifikasi hasil optimasi didapatkan pada kondisi jumlah katalis sebesar 7,5%, nisbah metanol:minyak 1:6, dan waktu reaksi selama 60 menit.
3. Interaksi 3 variabel yang diuji ditunjukkan pada kurva RSM, diketahui bahwa nisbah metanol:minyak memiliki pengaruh yang kurang signifikan terhadap konversi biodiesel karena hanya sedikit terjadi peningkatan pada kurva.
4. Biodiesel yang diperoleh dari hasil transesterifikasi terkonfirmasi memiliki komponen utama metil ester dari asam ricinoleat $C_{19}H_{36}O_2$ sebesar 90,70% dibuktikan dari hasil analisis GC-MS dan berdasarkan uji fisik menunjukkan bahwa biodiesel tersebut belum memenuhi standar SNI 7182-2015.

5.2. Saran

1. Mempelajari penggunaan zeolit-A sebagai katalis terhadap reaksi transesterifikasi dengan bahan baku minyak nabati selain minyak biji jarak kaliki.
2. Melakukan uji parameter fisik biodiesel secara lebih detail dan akurat dengan menggunakan instrumen pendukungnya agar mendapat hasil yang maksimal sesuai dengan persyaratan SNI 7182:2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu, R., Yahya, R., and Neon, S. 2016. Production of High Purity Amorphous Silica from Rice Husk Production of High Purity Amorphous Silica from Rice Husk. *Procedia Chemistry*. 19(12): 189–195.
- Anderson, Mark J., and Patrick J. Whitcomb. 2017. RSM Simplified. Boca Raton: CRC Press. 8(12): 25-26.
- Bethan, M. S., dan Supriyo, E. 2021. Transesterifikasi Minyak Kelapa Menjadi Biodiesel Dengan Katalis Cao dan Penerapan Biodiesel (B40) Pada Alat Fogging. *Jurnal Gema Teknologi*. 21(2): 81–85.
- Darajah, L. I., dan Kusumastuti, E. 2018. Indonesian Journal of Chemical Science Modifikasi Zeolit A dengan Surfaktan HDTMA dan Aplikasinya sebagai Adsorben Ion Nitrat. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 7(1): 1–8.
- Desiati, R. D., Sugiarti, E., dan Ramandhany, S. 2018. Analisa Ukuran Partikel Serbuk Komposit NiCrAl dengan Penambahan Reaktif Elemen untuk Aplikasi Lapisan Tahan Panas [Particle Size Analysis of NiCrAl Composite Powders with Reactive Elements Addition for Thermal Barrier Coating Applications]. *Metalurgi*. 33(1): 27.
- Deviani, S. S., Mahatmanti, F. W., dan Widiarti, N. 2018. Sintesis Dan Karakterisasi Zeolit Dari Abu Sekam Padi Menggunakan Metode Hidrotermal. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 7(1): 86–93.
- Dewi, T. K., Mahdi, dan Teguh N. 2016. Pengaruh Rasio Reaktan Pada Impregnasi dan Suhu Reduksi. *Teknik Kimia* 22(3): 9–18.

- Dimawarnita, F., Arfiana, A. N., Mursidah, S., Maghfiroh, S. R., dan Suryadarma, P. 2021. Produksi Biodiesel Berbasis Minyak Nabati Menggunakan Aspen Hysys. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 31(1): 98–109.
- Ekawati, S., Gayatri, B. R. R., Prakoso, P., dan Chumaidi, A. 2023. Analisa Ekonomi Prarancangan Pabrik Kimia Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Biji Randu (Ceiba Pentandra) Menggunakan Katalis Heterogen Cao Dengan Kapasitas 22.000 Ton/Tahun. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*. 6(2): 241–248.
- 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.
- 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.
- Ghifari, M. I. Al, dan Samik, S. 2023. Pembuatan Biodiesel dengan Metode Transesterifikasi Menggunakan Katalis Berbahan Limbah Tulang. *Unesa Journal of Chemistry*, 12(1): 1–11.
- Ginting, S., & Yassien Nurfiqih, M. 2017. Sintesis Zeolit A dari Coal Bottom Ash dengan Metode *Step Change Of Synthesis Temperature* dengan Variasi Suhu Kalsinasi Diaplikasikan Untuk Dehidrasi Etanol. *Jurnal Mechanical*. 4(1): 9-15.
- Ginting, S. B., Sari, D. P., Iryani, D. A., Hanif, M., dan Wardono, H. 2019. *Journal of Chemical Process Engineering Sintesis Zeolit Lynde Type-A (LTA) Dari Zeolit Alam Lampung (Zal)*. *Journal of Chemical Process Engineering*. 4(2655): 31–44.
- Hanipa, P., Pardoyo, P., Taslimah, T., Arnelli, A., dan Astuti, Y. 2017. Pengaruh Variasi Waktu Hidrotermal terhadap Sintesis dan Karakterisasi Nanokristal Zeolit A dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*. 20(2): 79–83.
- Hastuti, S., Utomo, I. T., Martini, T., Pranoto, P., Purnawan, C., Masykur, A., dan Wibowo, A. H. 2021. Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Sumber Silika untuk Pembuatan Adsorben Ion Logam Cd(II) Melalui Teknik Imprinted Ionic. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*. 17(1): 113–117.

- Herliana, Ilim, Simanjuntak, W., dan 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.
- Iia, I., dan Iib, I. 2020. Aplikasi Katalis Homogen pada Sintesis Emulsifier. *Jurnal teknik*. 7(2): 1-5.
- Jambulingam, R., Srinivasan, G. R., Palani, S., Munir, M., Saeed, M., and Mohanam, A. 2020. Process Optimization of Biodiesel Production from Waste Beef Tallow Using Ethanol As Co-Solvent. *SN Applied Sciences*. 2(8): 1–18.
- Kurniawan, R. Y., dan Widiastuti, N. 2017. Sintesis Zeolit-A dari Abu Dasar Batubara dengan Pemisahan Fe dan Ca. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 6(1): 17–20.
- Lestari, L. P., Meriatna, Suryati, Jalaluddin, dan Sylvia, N. 2021. Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak Kepyar. *Chemical Engineering Journal Storage*. 2(10): 64–80.
- Linda Triviana, Eti Rohaeti, S. Sugiaty. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na_2SiO_3) dari Sekam Padi. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. 7(11): 90–97.
- Lumbantoruan, P., dan Yulianti, E. 2016. Pengaruh Suhu terhadap Viskositas Minyak Pelumas (Oli). *Jurnal Sainmatika*. 13(2): 26–34.
- Mahfud, Muharto, Marwanto, A., dan R.A, P. 2021. Metode Pencucian pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar. *Angewandte Chemie International Edition*. 6(11): 951–952.
- Manojkumar, N., Muthukumar, C., and Sharmila, G. 2022. A Comprehensive Review On The Application Of Response Surface Methodology for Optimization of Biodiesel Production Using Different Oil Sources. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. 34(3): 198–208.
- Mardwita, M., Sri Yusmartini, E., Chobind Rivaldo, M., Jend Ahmad Yani Seberang Ulu, J. I., Plaju, K., Palembang, K., dan Selatan, S. 2021. Pengaruh Jumlah Logam dalam Katalis Co/Al₂O₃. *Jurnal Distilasi*. 6(1): 32–35.

- Montgomery, D. C. 2017. Design and Analysis Of Experiments. In *Physica Status Solidi (B)*. 173(1): 441-452.
- Muis, L., Sanova, A., dan Suryadri, H. 2021. Karakterisasi Zeolite dari Ampas Tebu yang Dihasilkan dari Reaktor Hidrotermal dan Aplikasinya pada Penyerapan Ion Logam Pb^{2+} . *Chempublish Journal*. 6(1): 1–11.
- Ndak, Y. A., Sarifudin, K., dan Sudirman. 2021. Pengaruh Komposisi SiO_2 pada Katalis CaO/SiO_2 terhadap Karakter Morfologi Permukaan, Ukuran Partikel dan Rendamen Metil Ester Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak Yulita. *Jurnal Beta Kimia*. 1(11): 64–77.
- Nyankson, E., Efavi, J. K., Yaya, A., Manu, G., Asare, K., Daafuor, J., and Abrokwhah, R. Y. 2018. Synthesis and Characterisation Of Zeolite-A and Zn-Exchanged Zeolite-A Based On Natural Aluminosilicates and Their Potential Applications. *Cogent Engineering*. 5(1): 1-10.
- Oko, S., dan Feri, M. 2019. Pengembangan Katalis CaO dari Cangkang Telur Ayam dengan Impregnasi Koh dan Aplikasinya terhadap Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak. *Jurnal Teknologi*. 11(2): 103–110.
- Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Jamarun, N., and Arief, S. 2021. The Use Of MgO/SiO_2 as Catalyst for Transesterification of Rubber Seed Oil with Different Alcohols. *Journal of Physics Conference Series*. 1751(1): 1-7.
- Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Pratiwi, E., and 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*. 1338(1): 1-12.
- Praputri, E., Sundari, E., Firdaus, F., dan Sofyan, S. 2018. Penggunaan Katalis Homogen dan Heterogen pada Proses Hidrolisis Pati Umbi Singkong Karet Menjadi Glukosa. *Jurnal Litbang Industri*. 8(2): 105-110.
- Purnomo, V., Hidayatullah, A. S., Inam, A., Prastuti, O. P., Septiani, E. L., dan Herwoto, R. P. 2020. Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar Dengan Transesterifikasi Metanol Subkritis. *Jurnal Teknik Kimia*. 14(2): 73–79.

- Putama Mursal, I. L. 2018. Karakterisasi Xrd dan Sem pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel dalam Drug Delivery System. *Pharma Xplore : Jurnal Ilmiah Farmasi*. 3(2): 214–221.
- Putra, W. A., Diharmi, A. R., dan Karnila, R. 2021. Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim Kolagenase dari Organ dalam Ikan Malong (Congresox talabon) pada pH Berbeda. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*. 13(1): 27–30.
- Rahman, M., Aziz, Y., dan Utama, P. S. 2021. Optimasi Kondisi Proses Sintesis Biodiesel Berbasis Reaksi Esterifikasi *Palm Fatty Acid Distillate* dengan Katalis Cu-Hidroksiapatit dari Limbah Tulang Ikan. *Journal of Bioprocess, Chemical and Environmental Engineering Science*. 2(1): 12–24.
- Ramadhani, R. A., Riyadi, D. H. S., Triwibowo, B., dan Kusumaningtyas, R. D. 2017. Review Pemanfaatan Design Expert untuk Optimasi Komposisi Campuran Minyak Nabati sebagai Bahan Baku Sintesis Biodiesel. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*. 1(1): 11–16.
- Rastini, E. K., Jimmy, J., dan Abdurrahman, A. 2022. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa pada Suhu Ruang dengan Variasi Katalis Basa dan Waktu Pengadukan. *Prosiding Seniati*. 6(3): 589–595.
- Rilyanti, M., Gita Silviana, E., Buhani, B., D. Pandiangan, K., and Luh Gede Ratna Juliasih, N. 2020. Sintesis Dan Karakterisasi Zeolit Mordenit (Mor) Pori Hirarki Berbasis Silika Abu Ampas Tebu. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 5(2): 178–191.
- Riyanti, F. 2019. Pengolahan Minyak Biji Jarak Kaliki (*Ricinus communis* L.) Menjadi Biodiesel Dengan Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis ZSM-5 (Zeolite Socony Mobile-5). Universitas Lampung. 1-5.
- Rozhkovskaya, A., Rajapakse, J., and Millar, G. J. 2021. Synthesis of HighQuality Zeolite LTA from Alum Sludge Generated in Drinking Water Treatment Plants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9(2): 1-35.
- Satria, Y. A. 2017. Studi Pirolisis Minyak Jarak Kaliki Menggunakan Prekursor Zeolit Berbasis Silika Sekam Padi sebagai Katalis. Universitas Lampung.

- Saputra, R., dan Intisari. 2016. Pemanfaatan Zeolit Sintetis sebagai Pengolahan Limbah Industri. *PMID* 6(1): 1–8.
- Saraswati, I. 2015. Zeolite-A Synthesis from Glass. *Jurnal Sains Dan Matematika*. 23(4): 112–115.
- Sarifudin, K. 2021. Studi Pengaruh Rasio Logam Prekursor Mo/Ni terhadap Karakter Keasaman dan Morfologi Katalis K-Ni-Mo/ZAA. *Haumeni Journal of Education*. 1(2): 160–170.
- Septiadi, A., dan Ramadhani, W. K. 2020. Penerapan Metode Anova untuk Analisis Rata-Rata Produksi Donat, Burger, dan Croissant pada Toko Roti Animo Bakery. *Bulletin of Applied Industrial Engineering Theory*. 1(2): 60–64.
- Setiadji, S., B, N. T., Sudiartati, T., Prabowo, E., dan N, B. W. 2017. Alternatif Pembuatan Biodiesel Melalui Transesterifikasi Minyak Castor (*Ricinus communis*) Menggunakan Katalis Campuran Cangkang Telur Ayam dan Kaolin. *Jurnal Kimia Valensi*. 3(1): 1–10.
- Setiawan, W., Azhari, A., dan Sylvia, N. 2018. Optimasi Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Jarak Kepyar (*Ricinus Communis L.*) dengan Metode Ekstraksi Reaktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 6(1): 45-50.
- Shahab, A., dan Husnah. 2022. Produksi Biodiesel dari Minyak Biji Karet dengan Teknologi Transesterifikasi Menggunakan Katalis KoH. *Jurnal Kimia*. 7(2): 33–38.
- Sholeha, R., dan Agustini, R. 2021. Lipase Biji-Bijian dan Karakteristiknya. *Unesa Journal of Chemistry*. 10(2): 168–183.
- 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(7): 1-7.
- Simanjuntak, W., Sembiring, S., Pandiangan, K. D., Syani, F., and Situmeang, R. 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.

- Tanzania Bureau Of Standards. 2020. Aluminium Foil For Pack aging Specification. *Journal Academica*.1-9.
- Tamoradi, T., Kiasat, A. R., Veisi, H., Nobakht, V., and Karmakar, B. 2022. RSM Process Optimization Of Biodiesel Production From Rapeseed Oil And Waste Corn Oil In The Presence Of Green and Novel Catalyst. *Scientific Reports*. 12(1): 1–15.
- Tri Kurnia Dewi, dan Mahdi, T. N. J. 2016. Pengaruh Rasio Reaktan pada Impregnasi dan Suhu Reduksi. *Teknik Kimia*. 22(3): 9–18.
- Trianasari, Manurung, P., dan Karo-Karo, P. 2017. Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika (SiO_2) sebagai Hasil Ekstraksi Batu Apung (Pumice). *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*. 5(2): 179–186.
- Trisnaliani, L., Zubaidah, N., dan Moulita, R. N. 2017. Proses Pembuatan Biodiesel Berbahan Baku Minyak Jelantah dengan Pemanfaatan Gelombang Mikro dan Tegangan Tinggi. *Jurnal Kinetika*. 2(11): 16–22.
- Ulfa, S. N. S., dan Samik, S. 2023. Pemanfaatan Katalis Zeolit Alam Teraktivasi dalam Sintesis Biodiesel dengan Metode Esterifikasi dan Transesterifikasi. *Unesa Journal of Chemistry*. 11(3): 165–181.
- Wardani, A. H., dan Zainuri, M. 2018. Pengaruh Variasi Massa SiO_2 terhadap Sudut Kontak dan Transparasi pada Lapisan *Hydrophobic*. *Jurnal Sains dan Seni*. 2(7): 59-65.
- Wulan Sari, N., dan Fajri, M. 2018. Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa Acuminate (L)*). *Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity*. 2(1): 30-36.
- Yani, A., Destiarti, L., dan Wahyuni, N. 2013. Sintesis Zeolit-A dengan Variasi Sumber Silika dan Alumina. *Jurnal Untan*. 2(1): 2–7.
- Yudhistira Widarsaputra, A., Eka Prawatya, Y., dan Sujana, I. 2022. Response Surface Methodology (Rsm) untuk Optimasi Pengolahan Keripik Nanas Menggunakan Mesin Vacuum Frying. *Journal Industrial Engineering and Management System*. 6(2): 70–77.

- Yunita, I., Sulistyaningsih, T., dan Widiarti, N. 2019. Karakterisasi dan Uji Sifat Fisik Material Zeolit Modifikasi Magnetit sebagai Adsorben Ion Klorida dalam Larutan Berair. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 8(2): 87–92.
- 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. *Journal Energy Conversion and Management*. 16(7): 100-105.
- Zalfiatri, Y., Restuhadi, F., dan Zulhardi, R. 2019. Karakteristik Biodiesel dari Minyak Jelantah menggunakan Katalis Abu Gosok dengan Variasi Penambahan Metanol. *Chempublish Journal*. 4(1): 1–8.
- Zamhari, M., Indah Sari, D., dan Suciatty Saputri, N. 2019. Pembuatan Katalis Heterogen Basa dari Serbuk Kayu Akasia Catalyst Heterogeneous Base Production From Acacia Wood Dust. *Jurnal Kinetika*. 10(1): 38–45.
- Zulichatun, S., Aris, W., Apriza, M., Yoga, A. P., Lutfi, N., dan Novita, D. R. 2015. Analisis Luas Permukaan Zeolit Alam Termodifikasi dengan Metode BET Menggunakan Surface Area Analyzer (SAA). *Jurnal Pelatihan Instrumen*. 2(1):1–10.