SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS ZEOLIT BASA MENGGUNAKAN METODE HIDROTERMAL UNTUK TRANSESTERIFIKASI BIODIESEL

Skripsi

Digunakan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Kimia

DISUSUN OLEH :

MUHAMMAD ZAINUL FATA

22031010115

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
SURABAYA

2026

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN HASIL PENELITIAN

"SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS ZEOLIT BASA MENGGUNAKAN METODE HIDROTERMAL UNTUK TRANSESTERIFIKASI BIODIESEL"

DISUSUN OLEH :

MUHAMMAD ZAINUL FATA

NPM. 22031010115

Telah dipertahankan, dihadapkan dan diterima oleh Tim Penguji

Pada tanggal : 5 Maret 2026

Dosen Penguji	Dosen Pembimbing
1.	
(Ir. Ketut Sumada, M.S.)	(Prof. Dr. Ir. Ni Ketut Sari, M.T.)
NIP. 19620118 198803 1 001	NIP. 19650731 199203 2 001
2.	
(Erwan Adi Saputro, S.T., M.T., Ph.D.)	
NIP. 19800410 200501 1 001	

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP.
NIP. 19650403 199103 2 001

Program Studi S-1 Teknik Kimia
Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN HASIL PENELITIAN

"SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS ZEOLIT BASA MENGGUNAKAN METODE HIDROTERMAL UNTUK TRANSESTERIFIKASI BIODIESEL"

DISUSUN OLEH :

MUHAMMAD ZAINUL FATA (22031010115)

Penelitian ini telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing Penelitian

(Prof. Dr. Ir. Ni Ketut Sari, M.T.)

NIP. 19650731 199203 2 001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Zainul Fata
NPM : 22031010115
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik dan Sains
Judul Skripsi/~~Tugas Akhir/Tesis/Disertasi~~: Sintesis dan Karakterisasi Katalis Zeolit Basa Menggunakan Metode Hidrotermal untuk Transesterifikasi Biodiesel

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah ~~Tugas Akhir~~/Skripsi/~~Tesis/Disertasi~~* ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemulan indikasi plagiat pada Skripsi/~~Tesis/Desertasi~~ ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 6 Maret 2026
Yang membuat pernyataan,

Muhammad Zainul Fata
NPM.22031010115

KETERANGAN REVISI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama: 1. Valda Ashila Dharmawan NPM. 22031010108

2. Muhammad Zainul Fata NPM. 22031010115

Jurusan : Teknik Kimia

Telah mengerjakan revisi / tidak ada revisi* ~~Proposal~~/Skripsi/~~Kerja Praktek~~, dengan

Judul :

"Sintesis dan Karakterisasi Katalis Zeolit Basa Menggunakan Metode Hidrotermal untuk Transesterifikasi Biodiesel"

Surabaya, 26 Januari 2026

Dosen Penguji yang memerintahkan revisi :

1. Ir. Ketut Sumada, M.S.
   NIP. 19620118 198803 1 001

   ( )

2. Erwan Adi Saputro, S.T., M.T., Ph.D.
   NIP. 19800410 200501 1 001

   ( )

Mengetahui

Dosen Pembimbing

(Prof. Dr. Ir. Ni Ketut Sari, M.T.)

NIP. 19650731 199203 2 00

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan hasil penelitian dengan judul " Sintesis dan Karakterisasi Katalis Zeolit Basa Menggunakan Metode Hidrotermal untuk Transesterifikasi Biodiesel" sebagai salah satu tugas penelitian penyusun. Laporan hasil penelitian ini tidak dapat tersusun sedemikian rupa tanpa bantuan baik sarana, prasarana, pemikiran, kritik, dan saran. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penyusun tidak lupa menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P. selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.
2. Dr. Ir. Sintha Soraya Santi, M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Kimia Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.
3. Prof. Dr. Ir. Ni Ketut Sari, M.T selaku dosen pembimbing penelitian
4. Ir. Ketut Sumada, M.S selaku dosen penguji dalam penelitian ini
5. Erwan Adi Saputro, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen penguji dalam penelitian ini

Penyusun menyadari masih banyak kekurangan pada penyusunan laporan hasil ini. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun atas laporan hasil ini. Akhir kata, penyusun mohon maaf yang sebesar-besarnya kepada semua pihak, apabila dalam penysunan proposal ini penyusun melakukan kesalahan baik yang disengaja maupun tidak disengaja.

Surabaya, 1 Januari 2026

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KETERANGAN REVISI iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vi
DAFTAR GAMBAR viii
DAFTAR TABEL ix
INTISARI x
BAB I PENDAHULUAN 1
I.1 Latar Belakang 1
I.2 Tujuan 3
I.3 Manfaat 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
II.1 Teori Umum 4
II.1.1. Bahan Baku Zeolit 4
II.1.2. Zeolit 6
II.1.3. Katalis 8
II.1.4. Biodiesel 8
II.1.5. Metode Pengujian Zeolit 10
II.2 Landasan Teori 13
II.2.1. Proses Alkali Hidrotermal 13
II.2.2. Proses Kalsinasi 14
II.2.3. Reaksi Transesterifikasi 14
II.2.4. Faktor yang Mempengaruhi 15
II.3 Hipotesis 18
BAB III METODE PENELITIAN 19
III.2 Bahan yang Digunakan 19
III.3 Rangkaian Alat 19

III.4 Variabel Penelitian 20
III.5 Prosedur Penelitian 20
III.5.1 Uraian Prosedur 20
III.5.2 Diagram Alir 23
III.6 Prosedur Analisa 24
BAB IV 27
IV.1. Pengaruh Variabel Zeolit terhadap Yield Biodiesel 27
IV.2. Optimasi Yield pada Proses Transesterifikasi dengan RSM 31
IV.3. Hasil Analisis Material Zeolit Basa 43
IV.3.1. Analisis Scanning Electron Microscope (SEM) 43
IV.3.2. Analisis X-Ray Fluorescence (XRF) 45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 48
V.1 Kesimpulan 48
V.2 Saran 48
DAFTAR PUSTAKA 49
LAMPIRAN I 53
LAMPIRAN II 60

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1. Struktur Biodiesel (Veluru et al., 2022) 9
Gambar II. 2. Reaksi Proses Transesterifikasi Pembentukan Biodiesel (Permata Lestari & Sylvia, 2021) 15
Gambar III. 1. Rangkaian Alat Proses Sintesis Katalis Zeolit 19
Gambar III. 2 Diagram Alir Sintesis katalis zeolit basa..... 23
Gambar III. 3. Diagram Alir Pengujian Biodiesel 24
Gambar IV. 1. Pengaruh pH Pencucian Katalis terhadap Yield Biodiesel pada Berbagai Rasio Si/Al..... 28
Gambar IV. 2. Pengaruh Rasio Si/Al Terhadap Yield Biodiesel pada Berbagai pH 29
Gambar IV. 3. 3D Surface Plot Pengaruh Rasio Si/Al dan pH terhadap Viskositas Biodiesel..... 33
Gambar IV. 4. 3D Surface Plot Pengaruh Rasio Si/Al dan pH terhadap Densitas Biodiesel..... 34
Gambar IV. 5. Korelasi antara Data Prediksi dan Data Eksperimental untuk Yield Biodiesel pada 25 Percobaan 36
Gambar IV. 6. Korelasi antara Data Prediksi dan Data Eksperimental untuk Yield Biodiesel pada 13 Percobaan Terpilih..... 40
Gambar IV. 7. Contour Plot yang Mengilustrasikan Pengaruh Rasio Si/Al dan PH terhadap Yield Biodiesel 41
Gambar IV. 8. Surface Plot yang Mengilustrasikan Efek Gabungan dari Rasio Si/Al dan PH Terhadap Yield Biodiesel..... 42
Gambar IV. 9. Hasil Analisis SEM Material Zeolit (a) Zeolit rasio Si/Al 5:1 dengan pH 9 (b) Jenis zeolit Y 44
Gambar IV. 10. Hasil Analisis XRF Produk Zeolit pada Rasio Si/Al = 5 dengan PH 9..... 46

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1. Sifat Bahan dari Natrium Silikat (Material Safety Data Sheet, 2014) . 4
Tabel II. 2. Sifat Bahan Natrium Aluminat (Material Safety Data Sheet, 2024).... 5
Tabel II. 4. Klasifikasi Zeolit Berdasarkan Rasio Silikon terhadap Aluminium (Si/Al) (Auerbach dkk., 2003) 6
Tabel II. 5. Syarat Mutu Biodiesel (Standar Nasional Indonesia, 2015) 9
Tabel III. 1. Komposisi Bahan Sintesis Zeolit Y dari Natrium Silikat dengan Variasi Rasio Molar SiO_2/Al_2O_3 (1/500 Komposisi)..... 21
Tabel IV. 1. Hasil Yield Biodiesel pada Berbagai Kondisi Rasio Si/Al dan PH Pencucian Katalis Zeolit 27
Tabel IV. 2. Perbandingan Karakteristik Biodiesel Hasil Eksperimen dengan Standar SNI 7182:2015 30
Tabel IV. 3. Data Pengaruh Rasio Si/Al dan pH terhadap Densitas dan Viskositas Biodiesel..... 31
Tabel IV. 4. Seleksi Model Regresi Berdasarkan Kriteria Statistik Viskositas 32
Tabel IV. 5. Seleksi Model Regresi Berdasarkan Kriteria Statistik Densitas..... 32
Tabel IV. 6. Matriks Desain Eksperimen Response Surface Methodology (RSM) dengan 25 Titik Data..... 34
Tabel IV. 7. Matriks Desain Eksperimen 13 Titik Data Terpilih..... 36
Tabel IV. 8. Seleksi Model Regresi Berdasarkan Kriteria Statistik..... 37
Tabel IV. 9. Analisis Varians (ANOVA) untuk Model Quadratic Yield Biodiesel 38
Tabel IV. 10. Koefisien Determinasi untuk Model Regresi yang Diperoleh dari Optimasi 13 Titik Data..... 39
Tabel IV. 11. Solusi Optimal Berdasarkan Response Surface Methodology (RSM) dari 13 Titik Data Eksperimen 41

INTISARI

Krisis energi global dan tuntutan transisi menuju energi terbarukan mendorong pertumbuhan pesat pasar biodiesel, yang diproyeksikan meningkat dari USD 42,43 miliar (2024) menjadi USD 92,45 miliar pada 2034. Di Indonesia, kebijakan mandatori biodiesel melalui Permen ESDM No. 12/2015 telah mewajibkan pencampuran biodiesel ke dalam solar hingga B35 (2023) dan diarahkan menuju B40 (2025), sehingga menuntut peningkatan efisiensi dan keberlanjutan teknologi produksinya. Produksi biodiesel secara konvensional dilakukan melalui reaksi transesterifikasi trigliserida menggunakan katalis basa homogen seperti NaOH dan KOH, namun katalis ini menghadapi kendala serius berupa kesulitan pemisahan dari produk, konsumsi air tinggi pada tahap pencucian, pembentukan sabun yang menurunkan yield, serta ketidakmampuan untuk digunakan kembali. Katalis heterogen berbasis zeolit menawarkan solusi atas permasalahan tersebut karena mudah dipisahkan, memiliki reusabilitas tinggi, dan toleran terhadap kandungan FFA dan air dalam bahan baku.

Penelitian ini bertujuan mensintesis dan mengkarakterisasi katalis zeolit basa melalui metode hidrotermal, dengan mengoptimalkan variasi rasio molar Si/Al (1:1, 2:1, 3:1, 4:1, dan 5:1) serta pH pencucian katalis (7, 8, 9, 10, dan 11) menggunakan Response Surface Methodology (RSM) berbasis Design Expert. Katalis disintesis dari larutan natrium silikat dan natrium aluminat yang dicampurkan hingga membentuk gel prekursor zeolit, kemudian dipanaskan secara hidrotermal pada suhu 100°C selama 72 jam, dikeringkan pada 100°C selama 2 jam, dan dikalsinasi pada 500°C selama 5 jam. Katalis hasil sintesis diuji aktivitasnya pada reaksi transesterifikasi 50 mL minyak goreng dengan metanol pada rasio molar 20:1, menggunakan 1 gram katalis, kecepatan pengadukan 600 rpm, suhu 70°C, selama 3 jam. Karakterisasi material dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk analisis morfologi dan X-Ray Fluorescence (XRF) untuk analisis komposisi kimia, sedangkan kualitas biodiesel dievaluasi melalui pengukuran densitas dan viskositas kinematik sesuai SNI 7182:2015.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan rasio Si/Al secara konsisten meningkatkan yield biodiesel pada seluruh rentang pH, dengan yield tertinggi 82,387% diperoleh pada rasio Si/Al 5:1 dan pH 9, sedangkan yield terendah 28,258% pada rasio Si/Al 1:1 dan pH 7. Hubungan antara pH pencucian dan yield bersifat non-linear dengan titik optimum pada pH 8–9; kondisi basa berlebih (pH > 10) menurunkan yield akibat hidrolisis kerangka Si–O–Al. Optimasi menggunakan model kuadratik RSM dari 13 titik data terpilih menghasilkan model dengan signifikansi tinggi (p-value < 0,0001, R^2 = 0,9976, Adjusted R^2 = 0,9957, Predicted R^2 = 0,9844, Adequate Precision = 65,56), dengan persamaan Yield = 56,66 + 24,88A + 0,50B − 1,15AB + 1,32A^2 − 4,06B^2 (coded factors). Kondisi optimum diprediksi pada rasio Si/Al = 4,975 dan pH = 8,912, menghasilkan yield 82,537% dengan nilai desirability 1,000. Biodiesel pada kondisi optimum (Run 23) memiliki densitas 877 kg/m^3 dan viskositas kinematik 4,69 cSt, keduanya memenuhi standar SNI 7182:2015.

Analisis SEM pada kondisi optimal menunjukkan morfologi kristal oktahedral berujung lancip berukuran 4,569–14,000 μm yang tersusun dalam agregat berlapis, konsisten dengan karakteristik zeolit Y pada literatur pembanding. Analisis XRF menunjukkan kandungan Al sebesar 11% dan Si sebesar 25,1%, menghasilkan rasio Si/Al aktual sebesar 2,28 — berbeda dari rasio teoritis 5:1 akibat kelarutan sebagian silika selama sintesis pada kondisi basa, namun tetap berada pada rentang 2–5 yang merupakan ciri khas zeolit Y. Ditemukan pula indikasi unsur minor seperti Ca dan Ba yang berpotensi memberikan kontribusi situs basa tambahan pada aktivitas katalitik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa katalis zeolit basa hasil sintesis hidrotermal terbukti aktif, dapat diregenerasi, dan berpotensi diaplikasikan sebagai katalis heterogen ramah lingkungan untuk mendukung produksi biodiesel nasional yang berkelanjutan.