

LAPORAN HASIL PENELITIAN

**OPTIMASI PROSES ESTERIFIKASI *CRUDE PALM OIL* (CPO) DENGAN
KATALIS ZEOLIT ALAM MENGGUNAKAN METODE *RESPONSE*
SURFACE METHODOLOGY (RSM)**



DISUSUN OLEH:

ELMA FATKHURIN

NPM. 21031010074

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR

SURABAYA

2025

**OPTIMASI PROSES ESTERIFIKASI CRUDE PALM OIL (CPO) DENGAN
KATALIS ZEOLIT ALAM MENGGUNAKAN METODE *RESPONSE*
SURFACE METHODOLOGY (RSM)**

Skripsi

Digunakan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam Memperoleh

**Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Kimia**



**DISUSUN OLEH:
ELMA FATKHURIN
NPM. 21031010074**

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

2025

Laporan Hasil Penelitian

"Optimasi Proses Esterifikasi *Crude Palm Oil* (CPO) dengan Katalis Zeolit Alam Menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM)"

**LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN HASIL PENELITIAN**

**"OPTIMASI PROSES ESTERIFIKASI *CRUDE PALM OIL* (CPO)
DENGAN KATALIS ZEOLIT ALAM MENGGUNAKAN METODE
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)"**

Disusun oleh:

ELMA FATKHURIN

NPM. 21031010074

Telah dipertahankan, dihadapkan, dan diterima oleh Dosen Penguji
pada tanggal: 05 Maret 2025

Dosen Penguji:

Dosen Pembimbing

1.

(Prof. Dr. Ir. Srie Mullani, M. T.)

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

NIP. 19611112 198903 2 001

NIP. 19650731 199203 2 001

2.

(Ir. Sani, M. T.)

NIP. 19630412 199103 2 001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik dan Sains

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

(Prof. Dr. Dra. Jarivah, M. P.)

NIP. 19650403 199103 2 001

Program Studi Teknik Kimia

Fakultas Teknik dan Sains

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Laporan Hasil Penelitian

"Optimasi Proses Esterifikasi *Crude Palm Oil* (CPO) dengan Katalis Zeolit Alam Menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM)"

**LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN HASIL PENELITIAN**

**"OPTIMASI PROSES ESTERIFIKASI *CRUDE PALM OIL* (CPO)
DENGAN KATALIS ZEOLIT ALAM MENGGUNAKAN METODE
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)"**

DISUSUN OLEH:

ELMA FATKHURIN
NPM. 21031910074

**PENELITIAN INI TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI OLEH:
DOSEN PEMBIMBING**



PROF. DR. IR. NI KETUT SARI, M. T.

NIP. 19650731 199203 2 001



Laporan Hasil Penelitian

“Optimasi Proses Esterifikasi *Crude Palm Oil* (CPO) dengan Katalis Zeolit Alam Menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM)”

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Elma Fatkhurin
NPM : 21031010074
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik dan Sains

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah skripsi 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 ditemukan 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, 05 Maret 2025

Yang Membuat Pernyataan


Elma Fatkhurin

NPM. 21031010074



Laporan Hasil Penelitian

“Optimasi Proses Esterifikasi *Crude Palm Oil* (CPO) dengan Katalis Zeolit Alam Menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM)”

KETERANGAN REVISI

Yang di bawah ini:

Nama : 1. Said Ahmad Fadhilah

NPM : 21031010060

2. Elma Fatkhurin

NPM : 21031010074

Telah mengerjakan revisi / tidak ada revisi laporan hasil penelitian, dengan

Judul :

“Optimasi Proses Esterifikasi *Crude Palm Oil* (CPO) dengan Katalis Zeolit Alam Menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM)”

Surabaya, 05 Maret 2025

Dosen penguji yang memerintahkan revisi:

1. (Prof. Dr. Ir. Srie Muljani, M. T.)

NIP. 19611112 198903 2 001

2. (Ir. Sani, M. T.)

NIP. 19630412 199103 2 001

Mengetahui,
Dosen Pembimbing

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

NIP. 19650731 199203 2 001



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 “Optimasi Proses Esterifikasi *Crude Palm Oil* (CPO) dengan Katalis Zeolit Alam Menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM)”

Laporan hasil penelitian ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh dalam program studi S-1 Teknik Kimia untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia di Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Laporan ini disusun berdasarkan teori dari literatur dan petunjuk dari dosen pembimbing. Laporan ini tidak dapat tersusun sedemikian rupa tanpa bantuan baik sarana, prasarana, pemikiran, kritik dan saran. Oleh karena itu, kami tidak lupa ucapkan 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. Prof. Dr. Ir. Srie Muljani, M. T. dan Ir. Sani, M. T. selaku dosen penguji penelitian
5. Seluruh pihak yang memberikan dukungan dan membantu dalam penyusunan laporan hasil penelitian ini

Penyusun menyadari dalam penyusunan laporan hasil penelitian ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran untuk menyempurnakan laporan hasil penelitian ini.

Surabaya, 05 Maret 2025

Penyusun



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN HASIL PENELITIAN	i
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KETERANGAN REVISI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
INTISARI	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Tujuan.....	3
I.3 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Teori Umum	5
II.1.1 <i>Crude Palm Oil</i> (CPO).....	5
II.1.2 Katalis dan Zeolit Alam	5
II.1.3 Aktivasi Zeolit Alam	6
II.1.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Aktivasi Zeolit Alam	8
II.1.5 <i>Free Fatty Acid</i> (FFA).....	10
II.2 Landasan Teori	11
II.2.1 Esterifikasi.....	11
II.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Esterifikasi	11
II.2.3 Optimasi RSM.....	13
II.3 Hipotesis.....	15
BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN.....	16
III.1 Tempat Penelitian	16
III.2 Bahan Baku	16
III.3 Rangkaian Alat.....	16
III.4 Kondisi yang Dijalankan.....	17
III.4.1 Kondisi yang Ditetapkan.....	17



III.4.2 Kondisi yang Diubah	18
III.5 Prosedur Penelitian	18
III.5.1 Aktivasi Zeolit Alam.....	18
III.5.2 Esterifikasi	18
III.5.3 Penentuan Kadar FFA	19
III.6 Diagram Alir Percobaan	20
III.6.1 Aktivasi Zeolit Alam.....	20
III.6.2 Esterifikasi	21
III.6.3 Optimasi RSM	22
III.7 Analisis Titrasi	23
III.7 Pengolahan Data (Optimasi RSM).....	23
III.8 Analisis Instrumentasi.....	24
III.8.1 GC-MS (<i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i>)	24
III.8.2 SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
IV.1 Pengaruh Variabel Waktu Esterifikasi dan Ukuran Katalis Zeolit Alam .	26
terhadap Kadar FFA.....	26
IV.2 Optimasi Kadar FFA dengan Metode <i>Response Surface Methodology</i> ...	31
(RSM)	31
IV.3 Analisis Hasil Esterifikasi Menggunakan <i>Gas Chromatography-</i>	40
<i>Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	40
IV.4 Analisis Zeolit Alam Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	46
.....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
V. 1 Kesimpulan	51
V.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN I PERHITUNGAN	59
LAMPIRAN II DOKUMENTASI.....	61
LAMPIRAN III HASIL UJI	67



DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Komposisi Zeolit Alam Sebelum Aktivasi dan Setelah Aktivasi dengan NaOH	8
Tabel IV. 1 Hasil Analisis Kadar FFA (%) dalam CPO	26
Tabel IV. 2 Koefisien Determinasi untuk Model Regresi yang Dihasilkan dari Optimasi 25 Data	31
Tabel IV. 3 Tabel 13 Data Kadar FFA yang Digunakan untuk Optimasi	32
Tabel IV. 4 Koefisien Determinasi untuk Model Regresi yang Dihasilkan Optimasi 13 Data	33
Tabel IV. 5 Hasil Optimasi Respon FFA (13 Data).....	34
Tabel IV. 6 Analysis of Variance (ANOVA) dari Optimasi 13 Data FFA.....	35



DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Crude Palm Oil	5
Gambar II. 2 Zeolit Alam.....	6
Gambar III. 1 Rangkaian Alat Penelitian.....	16
Gambar III. 2 Diagram Alir Aktivasi Zeolit Alam	20
Gambar III. 3 Diagram Alir Esterifikasi	21
Gambar III. 4 Diagram Alir Optimasi RSM	22
Gambar IV. 1 Grafik Pengaruh Waktu Esterifikasi (menit) terhadap Kadar FFA (%)	27
Gambar IV. 2 Grafik Standar Deviasi Kadar FFA (%) pada Waktu Esterifikasi (menit) Tertentu	28
Gambar IV. 3 Grafik Pengaruh Ukuran Katalis (mesh) terhadap Kadar FFA (%)	29
Gambar IV. 4 Grafik Standar Deviasi Kadar FFA (%) pada Ukuran Katalis (mesh) Tertentu	30
Gambar IV. 5 Diagram Pareto	36
Gambar IV. 6 Residual Plots.....	37
Gambar IV. 7 Contour Plot dari Ukuran Katalis (mesh) dan Waktu Esterifikasi (menit) terhadap Kadar FFA (%).....	39
Gambar IV. 8 Surface Plot dari Ukuran Katalis (mesh) dan Waktu Esterifikasi (menit) terhadap Kadar FFA (%).....	40
Gambar IV. 9 Hasil GC pada Hasil Esterifikasi Variabel Ukuran Katalis 100 Mesh dan Waktu Esterifikasi 170 Menit	41
Gambar IV. 10 Hasil MS pada Peak 6	43
Gambar IV. 11 Senyawa Asam Lemak Bebas yang Teridentifikasi pada Peak 8	45
Gambar IV. 12 Hasil SEM Zeolit Sebelum Teraktivasi (A), Zeolit Sesudah Teraktivasi (B), dan Zeolit Sesudah Teraktivasi Literatur (C)	47
Gambar IV. 13 Pori-pori Zeolit Sebelum Aktivasi	48
Gambar IV. 14 Pori-pori Zeolit Setelah Aktivasi	49



INTISARI

Indonesia berpotensi dalam produksi biodiesel karena Indonesia termasuk produsen CPO terbesar kedua di dunia. CPO memiliki kadar FFA yang beragam. Jika CPO ini digunakan sebagai bahan baku produksi biodiesel, kadar FFA harus diturunkan kurang dari 3%. Penurunan kadar FFA ini dapat melalui proses esterifikasi. Reaksi ini dapat dipercepat dengan adanya katalis heterogen berupa zeolit alam. Akan tetapi, zeolit alam ini perlu diaktivasi terlebih dahulu agar bisa digunakan sebagai katalis. Penentuan kondisi variabel bebas yang optimal dapat ditentukan dengan cara optimasi menggunakan RSM.

Proses yang terjadi dalam penelitian ini yaitu aktivasi zeolit alam dilakukan dengan cara mencampurkan zeolit alam dan larutan NaOH 0,4 M. Pencampuran dilakukan antara zeolit alam yang telah diaktivasi sesuai variabel 3% (20, 40, 60, 80, dan 100 mesh), CPO, dan metanol (rasio molar CPO:metanol yaitu 1:6). Waktu esterifikasinya disesuaikan dengan variabel waktu esterifikasi yaitu 90, 110, 130, 150, dan 170 menit. Hasil esterifikasi disentrifugasi untuk memisahkan antara katalis dan filtrat (ester). Ester ini dianalisis dengan metode titrasi untuk mengetahui kadar FFA-nya. Hasil kadar FFA yang telah diperoleh dioptimasi dengan RSM. Hasil yang optimal digunakan sebagai sampel dalam pengujian GC-MS dan SEM.

Optimasi dari 25 data kadar FFA menghasilkan kondisi optimal yaitu waktu esterifikasi 170 menit dan ukuran katalis zeolit alam 100 mesh dengan respon FFA 4,741%, sedangkan optimasi dari 13 data kadar FFA menghasilkan kondisi optimum yaitu ukuran zeolit alam 97,3909 mesh dan waktu esterifikasi 170 menit dengan kadar FFA 4,989%. Kemudian, hasil GC-MS menunjukkan bahwa sampel mengandung senyawa dominan berupa ester (Bis(2-ethylhexyl) phthalate) pada peak 6. Selain itu, sampel juga mengandung asam lemak bebas (nonahexanoic acid) dengan persentase area 1,32% pada peak 8. Kemudian, hasil SEM menunjukkan bahwa ukuran pori-pori zeolit alam sebelum aktivasi adalah 0,2341 – 0,3143 μm menjadi sekitar 0,6322 – 4,4493 μm setelah aktivasi.

Kata Kunci: CPO, Zeolit Alam, Esterifikasi, FFA, RSM
