

TESIS
STUDI PEMANFAATAN KEMBALI *SLUDGE* BESI SEBAGAI
KATALIS DALAM PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI
BIOETANOL BERBASIS OKSIDASI FOTO-FENTON



Disusun Oleh :
Karima Anggita Wijayanti 2208054010

Tesis ini disusun untuk melengkapi persyaratan dalam
memperoleh gelar Magister Teknik Kimia

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN
YOGYAKARTA
2024

THESIS
**REGENERATION STUDY OF IRON SLUDGE AS PHOTO-
FENTON OXIDATION'S CATALYST IN BIOETHANOL
INDUSTRY WASTEWATER TREATMENT**



Written by :

Karima Anggita Wijayanti

2208054010

**This thesis submitted as a fulfillment of the requirements to attain
the Master Degree of Chemical Engineering**

**GRADUATE PROGRAM OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY UNIVERSITAS
AHMAD DAHLAN
YOGYAKARTA
2024**

HALAMAN PERSETUJUAN

STUDI PEMANFAATAN KEMBALI *SLUDGE* BESI SEBAGAI KATALIS DALAM PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI BIOETANOL BERBASIS OKSIDASI FOTO-FENTON

Tesis ini disusun untuk melengkapi persyaratan dalam memperoleh gelar Magister Teknik Kimia pada Fakultas Teknologi Industri Universitas Ahmad Dahlan



Pembimbing I

Pembimbing II

A blue ink signature of Dr. Dhias Cahya Hakika, written in a cursive style.

(Dr. Dhias Cahya Hakika, S.T., M.Sc.)

NIPM. 19910322 202109 011 1397501

A blue ink signature of Dr. Ir. Martomo Setyawan, written in a cursive style.

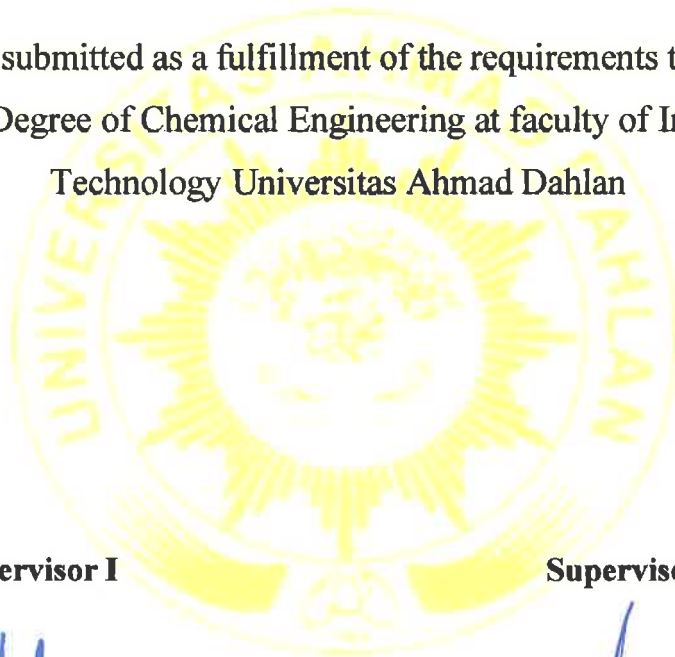
(Dr. Ir. Martomo Setyawan, S.T., M.T)

NIPM. 19720317 199706 111 0813004

APPROVAL PAGE

REGENERATION STUDY OF IRON SLUDGE AS PHOTO-FENTON OXIDATION'S CATALYST IN BIOETHANOL INDUSTRY WASTEWATER TREATMENT

This thesis submitted as a fulfillment of the requirements to attain the Master Degree of Chemical Engineering at faculty of Industrial Technology Universitas Ahmad Dahlan



Supervisor I

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Dhias Cahya Hakika".

(Dr. Dhias Cahya Hakika, S.T., M.Sc.)

NIPM. 19910322 202109 011 1397501

Supervisor II

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Martomo Setyawan".

(Dr. Ir. Martomo Setyawan, S.T., M.T)

NIPM. 19720317 199706 111 0813004

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI PEMANFAATAN KEMBALI *SLUDGE* BESI SEBAGAI KATALIS DALAM PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI BIOETANOL BERBASIS OKSIDASI FOTO-FENTON

Tesis untuk melengkapi persyaratan dalam memperoleh Gelar Magister
Teknik Kimia

Telah dipertahankan di hadapan Dewan Penguji

Pada tanggal : 29 Agustus 2024

Susunan Dewan Penguji:

Ketua Penguji : Dr. Dhias Cahya Hakika, S.T., M.Sc.
Anggota Penguji I : Dr. Endah Sulistyawati, S.T., M.T.
Anggota Penguji II : Aster Rahayu, S.Si., M.Si., Ph.D.
Anggota Penguji III : Dr. Ir. Martomo Setyawan, S.T., M.T.



.....
.....
.....
.....

MENGESAHKAN

Dekan Fakultas Teknologi Industri
Universitas Ahmad Dahlan



(Prof. Dr. Ir. Siti Jamilatun, M.T)

NIPM. 19660812 199601 011 0784324

RETIFICATION PAGE

REGENERATION STUDY OF IRON SLUDGE AS PHOTO-FENTON OXIDATION'S CATALYST IN BIOETHANOL INDUSTRY WASTEWATER TREATMENT

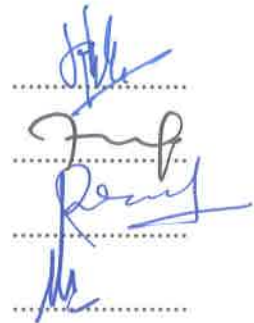
Thesis to complete the requirements for obtaining a Master Degree in
Chemical Engineering

Has been defended before the board of examiners

At the date : 29 August 2024

Board of Examiners:

Chairman : Dr. Dhias Cahya Hakika, S.T., M.Sc.
Examiner I : Dr. Endah Sulistiawati, S.T., M.T.
Examiner II : Aster Rahayu, S.Si., M.Si., Ph.D.
Examiner III : Dr. Ir. Martomo Setyawan, S.T., M.T.



APPROVED BY

Dean of Faculty of Industrial Technology

Universitas Ahmad Dahlan



(Prof. Dr. Ir. Siti Jamilatun, M.T.)

NIPM. 19660812 199601 011 0784324

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Karima Anggita Wijayanti

NIM : 2208054010

Program Studi : Magister Teknik Kimia

Fakultas : Teknologi Industri

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Penelitian yang kami tulis dengan judul **Studi pemanfaatan kembali *sludge* besi sebagai katalis dalam pengolahan limbah industri bioetanol berbasis oksidasi foto-Fenton** benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pikiran orang lain yang kami akui sebagai hasil tulisan atau pikiran kami sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan penelitian ini merupakan hasil karya jiplakan, maka kami bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Yogyakarta, 27 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



(Karima Anggita Wijayanti)

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Karima Anggita Wijayanti
NIM : 2208054010
Program Studi : Magister Teknik Kimia
Fakultas : Teknologi Industri
Judul Tesis : Studi pemanfaatan kembali *sludge* besi sebagai katalis dalam pengolahan limbah industri bioetanol berbasis oksidasi foto-Fenton

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya yang saya serahkan ini adalah asli dan belum pernah mendapat gelar sarjana atau magister baik di Universitas Ahmad Dahlan maupun di Instansi Pendidikan lainnya.
2. Hasil karya saya ini bukan saduran/terjemahan melainkan merupakan gagasan, rumusan dan hasil pelaksanaan penelitian dan implementasi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan pembimbing akademik dan narasumber penelitian.
3. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan yang telah diketahui dan disetujui oleh pembimbing.
4. Dalam karya saya ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah dirilis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang digunakan sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila dikemudian hari terbukti ada penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini maka saya telah bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya saya ini, serta sanksi lain yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Ahmad Dahlan.

Yogyakarta 27 Agustus 2024

Yang menyatakan



Karima Anggita Wijayanti

Mengetahui

Pembimbing I

(Dr. Dhias Cahya Hakika, S.T., M.Sc.)

NIPM. 19910322 202109 011 1397501

Pembimbing II

(Dr. Ir. Martono Setyawan, S.T., M.T)

NIPM. 19720317 199706 111 0813004

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN AKSES

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Karima Anggita Wijayanti
NIM : 2208054010
Email : 2208054010@webmail.uad.ac.id
Program Studi : Magister Teknik Kimia
Fakultas : Teknologi Industri
Judul Tesis : Studi pemanfaatan kembali *sludge* besi sebagai katalis dalam pengolahan limbah industri bioetanol berbasis oksidasi foto-Fenton

Dengan ini saya menyerahkan hak *sepenuhnya* kepada Perpustakaan Universitas Ahmad Dahlan untuk menyimpan, mengatur akses serta melakukan pengelolaan terhadap karya saya ini dengan mengacu pada ketentuan akses tugas akhir elektronik sebagai berikut

Saya (~~mengijinkan~~/~~tidak mengijinkan~~)* karya tersebut diunggah ke dalam Repository Perpustakaan Universitas Ahmad Dahlan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Yogyakarta, 27 Agustus 2024

Yang menyatakan,



Karima Anggita Wijayanti

Mengetahui

Mengetahui,

Pembimbing Tesis 1



(Dr. Dhias Cahya Hakika, S.T., M.Sc.)

NIPM. 19910322 202109 011 1397501

MOTTO

“Berjuang berdoa bersyukur semuaakan terasa ringan atas izin Allah”

- Karima Anggita Wijayanti –

“Barangsiapa tidak mau merasakan pahitnya belajar, ia akan merasakan hinanya kebodohan sepanjang hidupnya”

- Imam Syafi'i –

“Belajar disaat orang lain tidur; bekerja sementara yang lain bermalas – malasan; mempersiapkan disaat orang lain bermain; dan bermimpi sementara lainnya sedang berharap”

- William Arthur Ward –

“Life is not a problem to be solved, but an experience to be had”

- Alan Watts –

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya. Dia mendapat (pahala) dari kebajikan yang dikerjakannya dan dia mendapat (siksa) dari (kejahatan) yang diperbuatnya. (Mereka berdoa), Ya Tuhan kami, janganlah Engkau bebani kami dengan beban berat sebagaimana Engkau bebani kepada orang – orang sebelum kami. Ya Tuhan kami, janganlah Engkau pikulkan kepada kami apa yang tidak sanggup kami memikulnya. Maafkanlah kami, ampunilah kami, dan rahmatilah kami. Engkaulah pelindung kami tolonglah kami menghadapi orang – orang kafir.”

- QS. Surat Al-Baqarah ayat 286 -

“Jika seorang manusia meninggal, terputuslah amalnya, kecuali tiga hal: sedekah jariyah, Ilmu yang bermanfaat, anak shalih yang berdoa untuknya”

-HR. Muslim -

PERSEMBAHAN

Tesis ini saya persembahkan kepada:

1. Bapak Abdul Malik dan Ibu Sulistyorini terima kasih atas doa dan dukungan, kasih sayang, moril dan spiritual, nasehat, dan motivasi yang menjadi semangat utama bagi saya.
2. Kakak Akhroza Birowo Aji dan Azizah Farida Cahyaningtyas dan keponakan Azka Maher Devanand terima kasih atas doa dan support yang telah diberikan.
3. Dosen Pembimbing Tesis I Ibu Dr. Dhias Cahya Hakika, S.T., M.Sc atas kesempatan beasiswa yang ibu berikan, kesempatan menjadi asisten ibu, terima kasih atas dana penelitian tesis yang ibu support, kesempatan untuk saya lolos dalam pendanaan DRTPM 2024. Terima kasih atas bimbingan jurnal luaran, bimbingan tesis dan waktu yang selalu disempatkan ditengah kesibukan ibu untuk, support, arahan dan motivasi yang telah sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan naskah tesis dan jurnal sebagai luaran wajib dapat terselesaikan dengan baik.
4. Dosen Pembimbing Akademik dan sebagai Dosen Pembimbing II Bapak Dr. Ir. Martomo Setyawan, S.T., M.T terima kasih atas waktu, arahan dan bimbingan yang telah diberikan sehingga penulisan naskah tesis dan jurnal dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Dr.Ing. Suhendra, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing. Terimakasih atas kesempatan menjadi asisten bapak dan diberikan beasiswa selama 2 semester, waktu dan kesempatan baik serta pengalaman yang diberikan kepada saya sebagai tim riset dalam Proyek Matching Fund 2023. Terima kasih atas bekal dan wawasan semoga dapat bermanfaat bagi saya di kemudian hari.
6. Seluruh dosen Magister Teknik Kimia terimakasih atas dukungan dan arahan yang bapak dan ibu berikan.
7. Teman- teman satu angkatan IV, angkatan I, II, III, IV dan V Magister Teknik Kimia yang telah memberikan doa dan saling menyemangati sehingga saya dapat melewati segala proses penyelesaian studi Magister ini dengan baik.
8. Segenap Civitas Akademika Universitas Ahmad Dahlan terima kasih atas segala pelayanan dan bantuan yang diberikan.
9. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu terima kasih telah membantu dan memberikan doa dan dukungan kepada saya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, ridho dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyusun dan menyelesaikan proposal tesis yang berjudul “Studi Pemanfaatan Kembali *Sludge* Besi Sebagai Katalis Dalam Pengolahan Industri Limbah Bioetanol Berbasis Oksidasi foto- Fenton”.

Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan proposal ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, maka dari itu penyusun dengan segenap hati mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Muchlas, M.T. selaku Rektor Universitas Ahmad Dahlan
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Siti Jamilatun, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri
3. Bapak Dr. Ir. Martomo Setyawan selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Ahmad Dahlan.
4. Ibu Dr. Dhias Cahya Hakika, S.T., M.Sc. dan Bapak Dr. Ir. Martomo Setyawan, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Tesis.
5. Orang Tua yang telah memberikan doa, motivasi, dukungan moral dan spiritual.
6. Semua pihak yang telah membantu hingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penyusun menyadari bahwa laporan tesis ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, oleh karenanya penyusun mengharap kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk perbaikan laporan tesis ini.

Yogyakarta, 27 Agustus 2024

Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN PERSETUJUAN | iii |
| APPROVAL PAGE | iv |
| HALAMAN PENGESAHAN | v |
| RETIFICATION PAGE | vi |
| PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN | vii |
| SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT | viii |
| SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN AKSES | ix |
| MOTTO | x |
| PERSEMBAHAN | xi |
| KATA PENGANTAR | xii |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xvi |
| ABSTRAK | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| I.1 Latar Belakang | 1 |
| I.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| I.3 Hipotesis | 3 |
| I.4 Tujuan..... | 4 |
| I.5 Manfaat..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| II.1 Bahaya Logam Berat Besi (Fe)..... | 5 |
| II.2 Limbah Industri Bioetanol | 5 |
| II.4 Proses Produksi Bioetanol..... | 6 |
| II.6 Metode foto-Fenton..... | 8 |
| II.7 <i>Sludge</i> Hasil Endapan Setelah Proses Fenton | 11 |
| II.8 Analisis Instrumentasi untuk Pengujian Karakteristik Katalis..... | 11 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 14 |
| III.1 Lokasi Penelitian | 14 |
| III.2 Bagan Alur Penelitian..... | 14 |
| III.3 Alat dan Bahan | 15 |
| III.4 Skema Penelitian | 15 |
| III.5 Variabel Penelitian | 16 |
| III.6 Prosedur Penelitian | 16 |
| BAB IV PEMBAHASAN | 18 |
| IV.1 Mekanisme foto-Fenton | 18 |
| IV.2 Pengaruh Waktu Penyinaran Terhadap Proses foto-Fenton | 19 |
| IV.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Limbah Bioetanol..... | 21 |
| IV.4 Hasil Karakterisasi Katalis Setelah Proses foto-Fenton | 22 |
| IV.5 Efektivitas Katalis yang Telah Diregenerasi | 29 |
| BAB V PENUTUP | 30 |
| V.1 Kesimpulan | 30 |
| V.2 Saran..... | 30 |

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----------|
| DAFTAR PUSTAKA | 32 |
| Lampiran I Daftar Riwayat Hidup | 37 |
| Lampiran II Dokumentasi Eksperimen foto-Fenton | 38 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel II. 1 Karakteristik limbah industri bioetanol..... | 6 |
| Tabel III. 1 Variabel penelitian..... | 16 |
| Tabel IV. 1 Nilai potensi elektrokimia berbagai senyawa..... | 18 |
| Tabel IV. 2 Golongan gugus fungsional organik | 24 |
| Tabel IV. 3 Hasil FTIR spektrum sampel katalis setelah proses foto-Fenton | 24 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar II. 1 Diagram alir proses produksi bioetanol..... | 6 |
| Gambar II. 2. Mekanisme reaksi foto-Fenton..... | 10 |
| Gambar III. 1 Bagan alur penelitian..... | 14 |
| Gambar III. 2 Skema alat penelitian Foto-Fenton | 15 |
| Gambar III. 3 Cara Kerja Penelitian..... | 16 |
| Gambar IV. 1 Pengaruh waktu penyinaran lampu UV terhadap profil ORP | 22 |
| Gambar IV. 2 Pengaruh faktor pengenceran sampel limbah bioetanol terhadap profil ORP | 21 |
| Gambar IV. 3 Perbandingan katalis besi pada kondisi awal dan setelah dilakukan regenerasi..... | 22 |
| Gambar IV. 4 Hasil uji FTIR katalis besi sesudah proses foto-Fenton..... | 23 |
| Gambar IV. 5 Hasil uji XRD katalis besi sesudah proses foto-Fenton..... | 26 |
| Gambar IV. 6 Perbandingan hasil SEM katalis besi sebelum dan sesudah proses foto-Fenton..... | 27 |
| Gambar IV. 7 Pengaruh pengolahan foto-Fenton terhadap presentase penurunan polutan | 29 |

ABSTRAK

Air limbah bioetanol disebut sebagai limbah industri yang sulit diolah karena jika pembuangan ke saluran air mengandung kontaminasi polutan yang membandel dan sulit terurai. Karena strukturnya yang rumit, proses pengolahan limbah bioetanol menggunakan metode tradisional seperti adsorpsi, koagulasi, dan flokulasi menjadi tantangan tersendiri. Reaksi Fenton ditemukan sebagai metode yang efektif untuk mendegradasi kontaminan melalui radikal hidroksil dibantu dengan sinar UV. Proses Fenton merupakan reaksi antara Hidrogen peroksida (H_2O_2) dan ion besi (Fe^{2+}) yang dilakukan dalam reaktor batch. Dalam penelitian ini, sludge besi, yaitu residu dari proses pengolahan besi, digunakan sebagai sumber ion besi dalam reaksi Fenton.

Tujuan utama dari studi ini adalah untuk mengetahui variabel, karakteristik dari proses foto-Fenton, dan efektivitas dan pemanfaatan kembali *sludge* besi pada proses foto-Fenton. Metode penelitian meliputi perlakuan foto-Fenton dengan variasi konsentrasi awal limbah dengan faktor pengenceran 25, 50, dan 75 serta waktu penyinaran oleh sinar UV selama 15, 30, dan 45 menit. Dimana hasil air yang telah dilakukan pengolahan kemudian dianalisis Tingkat COD dan BOD, disamping itu *sludge* besi yang dihasilkan selanjutnya dilakukan pengeringan katalis pada suhu 110°C selama 30 menit. Sludge besi yang telah dikeringkan kemudian dilakukan analisis karakteristik menggunakan SEM dan FTIR. Kemudian digunakan kembali untuk proses Fenton siklus selanjutnya.

Hasil menunjukkan bahwa *sludge* besi dapat digunakan secara efektif sebagai katalis regenerasi, dengan performa yang hampir sebanding dengan katalis besi komersial dalam hal penurunan konsentrasi kontaminan organik. Hal ini dibuktikan dengan hasil BOD dan COD menggunakan katalis komersial masing-masing 99,99% dan 99,04% sedangkan hasil katalis regenerasi untuk BOD dan COD masing – masing 97% dan 95%. Penelitian ini tidak hanya menawarkan solusi pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan tetapi juga memberikan nilai tambah untuk *sludge* besi, yang biasanya dianggap sebagai limbah industri. Temuan ini berpotensi memberikan kontribusi signifikan terhadap praktik pengolahan limbah industri bioetanol dan pengelolaan residu industri secara umum.

Kata Kunci: *advanced oxidation process*, bioetanol, foto-Fenton, limbah cair, vinasse