

**PERBANDINGAN KINERJA REAKTOR ADSORPSI
FIXED-BED DAN *FLUIDIZED-BED* DALAM
REDUKSI KROM TOTAL PADA LIMBAH BATIK
MENGUNAKAN BIOADSORBEN DAN ZEOLIT**

SKRIPSI



Oleh :

WINDA NURMALIA RIZQY

NPM 21034010013

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA**

2026

PERBANDINGAN KINERJA REAKTOR ADSORPSI *FIXED-BED* DAN *FLUIDIZED-BED* DALAM REDUKSI KROM TOTAL PADA LIMBAH BATIK MENGGUNAKAN BIOADSORBEN DAN ZEOLIT

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T.)
Program Studi Teknik Lingkungan.

Diajukan Oleh :

WINDA NURMALIA RIZQY

NPM 21034010013

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA**

2026

LEMBAR PENGESAHAN

PERBANDINGAN KINERJA REAKTOR ADSORPSI *FIXED-BED* DAN *FLUIDIZED-BED* DALAM REDUKSI KROM TOTAL PADA LIMBAH BATIK MENGGUNAKAN BIOADSORBEN DAN ZEOLIT

Disusun Oleh:


Winda Nurmalia Rizqy
NPM 21034010013

Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada Jurnal *Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment* (Terakreditasi Sinta 2).

Menyetujui,

TIM PENGUJI

1. Ketua

Pembimbing 1


Raden Kpkoh Harvo Putro, S.T., M.T.
NIP. 19900905 201903 1 026


Dr. Okik Hendriyanto Cahvonugroho, S.T., M.T.
NIP. 19750717 202121 1 007

2. Anggota

Pembimbing 2


Praditya Sigit Ardisty Sitogasa, S.T., M.T.
NIP. 19901001 202406 2001


Firra Rosariawari, S.T., M.T.
NIP. 19750409 202121 2 004

Mengetahui,

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


Prof. Dr. Dra. Jarivah, M.P.
NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR PERSETUJUAN

PERBANDINGAN KINERJA REAKTOR ADSORPSI *FIXED-BED* DAN *FLUIDIZED-BED* DALAM REDUKSI KROM TOTAL PADA LIMBAH BATIK MENGGUNAKAN BIOADSORBEN DAN ZEOLIT

Disusun Oleh:


Winda Nurmalla Rizqy
NPM 21034010013

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian

Menyetujui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2


Raden Kokoh Harvo Putro, S.T., M.T.
NIP. 19900905 201903 1 026


Praditya Sigit Ardisty Sitogasa, S.T., M.T.
NIP. 19901001 202406 2001

Mengetahui,

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


Prof. Dr. Dra. Jarivah, M.P.
NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR REVISI

PERBANDINGAN KINERJA REAKTOR ADSORPSI *FIXED-BED* DAN *FLUIDIZED-BED* DALAM REDUKSI KROM TOTAL PADA LIMBAH BATIK MENGGUNAKAN BIOADSORBEN DAN ZEOLIT

Disusun Oleh


Winda Nurmalla Rizqy
NPM 21034010013

Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 18 Februari 2026

TIM PENILAI

KETUA

ANGGOTA


Dr. Okik Hendriyanto Cahyonugroho, S.T., M.T.
NIP. 19750717 202121 1 007


Firra Rosariawati, S.T., M.T.
NIP. 19750409 202121 2 004

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Winda Nurmalia Rizqy
NPM : 21034010013
Program : Sarjana (S1) / Magister (S2) / Doktor (S3)
Program Studi: Teknik Lingkungan
Fakultas : Teknik dan Sains

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, 18 Februari 2026

Yang Membuat Pernyataan



Winda Nurmalia Rizqy
NPM. 21034010013

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena dengan segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “PERBANDINGAN KINERJA REAKTOR ADSORPSI *FIXED-BED* DAN *FLUIDIZED-BED* DALAM REDUKSI KROM TOTAL PADA LIMBAH BATIK MENGGUNAKAN BIOADSORBEN DAN ZEOLIT”. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana pada program studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Selama pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis sudah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih atas semua bantuannya baik langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada :

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, yang telah memberikan fasilitas dan kesempatan bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Firra Rosariawari, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, yang telah memberikan dukungan dan arahan selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
3. Raden Kokoh Haryo Putro, ST., MT. dan Praditya Sigit Ardisty Sitogasa, ST., MT., selaku dosen pembimbing skripsi. Penulis menyampaikan terima kasih atas bimbingan, arahan, dan dukungan selama penyusunan skripsi ini.
4. Dr. Okik Hendriyanto C., ST, MT dan Firra Rosariawari, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Orang tua dan saudara yang telah memberikan waktu, tenaga, dan doa untuk memberikan bimbingan selama ini hingga terselesainya skripsi ini.
6. Semua pihak yang tidak sempat penyusun sebutkan satu persatu disini yang juga turut membantu kelancaran dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis berharap skripsi ini dapat berguna untuk menambah wawasan serta pengetahuan. Penulis juga menyadari bahwa dalam skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh sebab itu, penulis berharap akan adanya kritik, saran dan usulan demi perbaikan skripsi yang akan dibuat pada masa yang akan datang.

Surabaya, 27 Januari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.1.1 Limbah Cair Batik.....	5
2.1.2 Baku Mutu Air Limbah Batik	6
2.1.3 Adsorpsi	6
2.1.4 Jenis-Jenis Adsorpsi	7
2.1.5 Metode Adsorpsi	8
2.1.6 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Adsorpsi	9
2.1.7 Adsorben	11
2.1.8 Uji Spektroskopi Serapan Atom	11
2.1.9 Uji <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	12
2.2 Landasan Teori.....	13
2.2.1 <i>Fixed-Bed Coloumn</i>	13
2.2.2 <i>Fluidized Bed Reactor</i>	15
2.2.3 Krom Total (Cr) dalam Limbah Batik	16
2.2.4 Adsorben Tempurung Kelapa	17
2.2.5 Adsorben Tongkol Jagung	17

2.2.6	Adsorben Zeolit.....	18
2.2.7	Mekanisme Penurunan Krom Total Menggunakan Adsorpsi.....	19
2.2.8	Kapasitas Adsorpsi.....	20
2.3	Penelitian Terdahulu	22
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		27
3.1	Kerangka Penelitian	27
3.2	Alat dan Bahan.....	29
3.2.1	Alat yang Digunakan.....	29
3.2.2	Bahan yang Digunakan	29
3.2.3	Desain Reaktor	30
3.3	Prosedur Kerja.....	31
3.3.1	Pembuatan Karbon Aktif.....	31
3.3.2	Karakteristik Aktivasi Adsorben.....	32
3.3.3	Karakterisasi Adsorben dengan uji SEM	32
3.3.4	Penelitian Utama	33
3.4	Variabel	33
3.4.1	Variabel Bebas	33
3.4.2	Variabel Tetap.....	33
3.4.3	Parameter Uji	33
3.5	Matriks Penelitian	33
3.6	Analisis Data dan Pembahasan	34
3.7	Jadwal Kegiatan	35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		36
4.1	Karakteristik Limbah Batik.....	36
4.2	Karakteristik Adsorben	36
4.3	Pengaruh Jenis Adsorben, Jenis Reaktor, dan Waktu Sampling Terhadap Persen Penyisihan Cr Total	38
4.3.1	Pengaruh Jenis Reaktor Dan Jenis Adsorben Terhadap Penyisihan Cr Total	40
4.3.2	Pengaruh Jenis Reaktor dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Cr Total	42

4.3.3	Pengaruh Jenis Adsorben Dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Cr Total.....	46
4.4	Efisiensi <i>Fixed-Bed Adsorption Reactor</i> dan <i>Fluidized-Bed Reactor</i> dalam Menurunkan Kadar Krom Total Menggunakan Variasi Jenis Adsorben	50
4.5	Perhitungan Kapasitas dan Konstanta Adsorpsi Menggunakan Pemodelan Thomas Dan Yoon Nelson	52
4.5.1	Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Model Thomas	52
4.5.2	Perhitungan Konstanta Adsorpsi Model Yoon-Nelson.....	56
4.6	Morfologi Karbon Aktif Berdasarkan Presentase Penyisihan Terbaik Menggunakan Uji SEM	60
4.6.1	Morfologi Adsorben Zeolit Sebelum Adsorpsi.....	60
4.6.2	Morfologi Adsorben Zeolit Setelah Adsorpsi	63
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN.....		78
LAMPIRAN A		78
LAMPIRAN B		83
LAMPIRAN C		97
LAMPIRAN D.....		100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)</i> Shimadzu.....	12
Gambar 2.2 Instrumen Uji SEM-EDX.....	13
Gambar 2.3 <i>Fixed-bed Adsorption Column Upflow and Downflow</i>	14
Gambar 2.4 <i>Fluidized-Bed Adsorption Column Upflow</i>	15
Gambar 2.5 <i>Fluidized-Bed Adsorption Column Downflow</i>	16
Gambar 2.6 Bahan Baku Tempurung Kelapa	17
Gambar 2.7 Bahan Baku Tongkol Jagung	18
Gambar 2.8 Adsorben Zeolit.....	19
Gambar 3.1 <i>Fixed-Bed Reactor Adsorption</i>	30
Gambar 3.2 <i>Fluidized-Bed Reactor Adsorption</i>	30
Gambar 4.1 Hasil ANOVA <i>Two-Way</i> Pengaruh Jenis Reaktor Dan Jenis Adsorben Terhadap Penyisihan Krom Total	40
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Jenis Reaktor Dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Krom Total Menggunakan Adsorben Tempurung Kelapa	42
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Jenis Reaktor Dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Krom Total Menggunakan Adsorben Tongkol Jagung	43
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Jenis Reaktor Dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Krom Total Menggunakan Adsorben Zeolit	44
Gambar 4.5 Hasil ANOVA <i>Two-Way</i> Pengaruh Jenis Reaktor dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Krom Total	45
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Jenis Adsorben Dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Krom Total Pada <i>Fixed-Bed Reactor</i>	47
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Jenis Adsorben Dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Krom Total Pada <i>Fluidized-Bed Reactor</i>	47
Gambar 4.8 Hasil ANOVA <i>Two-Way</i> Pengaruh Jenis Adsorben dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Krom Total.....	49
Gambar 4.9 Grafik Persamaan Linier Model Thomas pada <i>Fixed-bed Reactor</i> ...	53
Gambar 4.10 Grafik Persamaan Linier Model Thomas pada <i>Fluidized-bed Reactor</i>	54

Gambar 4.11 Grafik Persamaan Linier Model Yoon-Nelson pada <i>Fixed-bed Reactor</i>	57
Gambar 4.12 Grafik Persamaan Linier Model Yoon-Nelson pada <i>Fluidized-bed Reactor</i>	57
Gambar 4.13 Morfologi Uji SEM Zeolit Perbesaran 5000x Sebelum Adsorpsi ..	60
Gambar 4.14 Spektrum EDX Zeolit Sebelum Adsorpsi	62
Gambar 4.15 Morfologi Uji SEM Zeolit Perbesaran 5000x Setelah Adsorpsi.....	63
Gambar 4.16 Spektrum EDX Zeolit Setelah Adsorpsi	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Industri Tekstil.....	6
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	22
Tabel 3.1 Matriks Penelitian	34
Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan	35
Tabel 4.1 Karakterisasi Adsorben Berdasarkan SNI.....	37
Tabel 4.2 Efisiensi Penyisihan Krom Total pada Limbah Batik.....	38
Tabel 4.3 Kapasitas Adsorpsi dengan Pemodelan Thomas	54
Tabel 4.4 Konstanta dan Waktu <i>Breakthrough</i> dengan Pemodelan Yoon-Nelson	58
Tabel 4.5 Elemen Unsur Zeolit Sebelum Adsorpsi.....	61
Tabel 4.6 Elemen Unsur Zeolit Setelah Adsorpsi.....	64

ABSTRAK

Industri batik menghasilkan limbah cair yang mengandung logam berat krom (Cr) yang berpotensi mencemari lingkungan. Adsorpsi menggunakan bioadsorben dan zeolit merupakan metode yang efektif dan ekonomis untuk menurunkan kadar krom total. Penelitian ini bertujuan menganalisis efisiensi adsorpsi krom total pada limbah cair batik menggunakan reaktor *fixed-bed* dan *fluidized-bed*, kapasitas adsorpsi berdasarkan model Thomas dan Yoon–Nelson, serta perubahan morfologi adsorben sebelum dan sesudah adsorpsi. Penelitian dilakukan secara kontinyu pada skala laboratorium dengan variasi jenis reaktor, adsorben, dan waktu sampling menggunakan adsorben teraktivasi H_3PO_4 3 M dengan rasio 1:3. Hasil menunjukkan bahwa reaktor *fluidized-bed* memberikan efisiensi optimum pada adsorben tempurung kelapa dan tongkol jagung masing-masing sebesar 83% dan 81%, sedangkan reaktor *fixed-bed* menghasilkan efisiensi tertinggi pada zeolit sebesar 88%. Model Thomas menunjukkan kapasitas adsorpsi tertinggi pada tempurung kelapa sebesar 0,169 mg/g, sementara model Yoon–Nelson menunjukkan waktu *breakthrough* terlalu lama pada zeolit hingga 544 menit. Analisis SEM menunjukkan perubahan morfologi permukaan zeolit menjadi lebih padat dengan permukaan tertutup setelah adsorpsi. Penelitian ini menunjukkan bahwa jenis reaktor, adsorben, dan waktu sampling berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan krom total.

Kata kunci: Limbah Batik, Adsorpsi, Bioadsorben, Krom Total, *Fixed-Bed*, *Fluidized-Bed*, Tempurung Kelapa, Tongkol Jagung, Zeolit.

ABSTRACT

The batik industry produces liquid waste containing the heavy metal chromium (Cr), which has the potential to pollute the environment. Adsorption using bioadsorbents and zeolite is an effective and economical method for reducing total chromium levels. This study aims to analyze the efficiency of total chromium adsorption in batik wastewater using fixed-bed and fluidized-bed reactors, the adsorption capacity based on the Thomas and Yoon–Nelson models, and changes in adsorbent morphology before and after adsorption. The study was conducted continuously at the laboratory scale with variations in reactor type, adsorbent type, and sampling time, using adsorbents activated with 3 M H_3PO_4 at a ratio of 1:3. The results showed that the fluidized-bed reactor provided optimum efficiency for coconut shell and corn cob adsorbents at 83% and 81%, respectively, while the fixed-bed reactor achieved the highest efficiency for zeolite at 88%. The Thomas model indicated the highest adsorption capacity for coconut shell at 0.169 mg/g, whereas the Yoon–Nelson model showed the longest breakthrough time for zeolite at 544 minutes. SEM analysis revealed changes in the surface morphology of zeolite, becoming denser with a more closed surface after adsorption. Overall, the efficiency of total chromium removal depends on the reactor type, adsorbent, and sampling time.

Keywords: *Batik Wastewater, Adsorption, Bioadsorbent, Total Chromium, Fixed-Bed, Fluidized-Bed, Coconut Shell, Corn Cob, Zeolite.*