

KINETIKA ADSORPSI GAC DAN ZEOLIT PADA KOLOM *FIXED-BED* UNTUK AIR GAMBUS PASCA KOAGULASI-FLOKULASI

SKRIPSI



NASYWA KHALISAH PIETER

NPM 22034010113

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA
2026**

**KINETIKA ADSORPSI GAC DAN ZEOLIT PADA KOLOM
FIXED-BED UNTUK AIR GAMBUT PASCA KOAGULASI-
FLOKULASI**

SKRIPSI

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

Diajukan Oleh :

NASYWA KHALISAH PIETER

NPM 22034010113

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

2026

LEMBAR PERSETUJUAN

**KINETIKA ADSORPSI GAC DAN ZEOLIT PADA KOLOM
FIXED-BED UNTUK AIR GAMBUT PASCA KOAGULASI-
FLOKULASI**

Disusun Oleh,


Nasywa Khalisah Pieter
NPM 22034010113

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian

Menyetujui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2


Aussie Amalia, S.T., M.Sc.
NPT 172 1992 1124 059


R. M. Alghaf Dienullah, S.T. M.T.
NIP 19981012 202406 1 001

Mengetahui,

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


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

LEMBAR PENGESAHAN

**KINETIKA ADSORPSI GAC DAN ZEOLIT PADA KOLOM
FIXED-BED UNTUK AIR GAMBUT PASCA KOAGULASI-
FLOKULASI**

Disusun Oleh:



Nasywa Khalisah Pieter

NPM 22034010113

**Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada Jurnal Serambi
Engineering (Terakreditasi Sinta 4)**

Menyetujui,

Pembimbing 1

TIM PENGUJI

1. Ketua



Aussie Amalia, S.T., M.Sc.
NPT. 172 1992 1124 059



Dr. Aulia Ulfah Farahdiba, S.T., M.Sc.
NIP. 19890106 202406 2002

Pembimbing 2

2. Anggota



R. M. Alghaf Dienullah, S.T. M.T.
NIP. 19981012 202406 1 001



M. A. S. Jawwad, S.T., M.Sc.
NIP. 19940727 202406 1001

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

**KINETIKA ADSORPSI GAC DAN ZEOLIT PADA KOLOM
FIXED-BED UNTUK AIR GAMBUT PASCA KOAGULASI-
FLOKULASI**

Disusun Oleh:



Nasywa Khalisah Pieter

NPM 22034010113

Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 28 Agustus 2026

TIM PENILAI

KEPUEA



Dr. Aulia Ulfah Farahdiba, S.T., M.Sc.

NIP. 19890106 202406 2002

ANGGOTA



M. A. S. Jawwad, S.T., M.Sc.

NIP. 19940727 202406 1001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nasywa Khalisah Pieter
NPM : 22034010113
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Teknik dan Sains

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah 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 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, 28 Agustus 2026

Yang Membuat Pernyataan



Nasywa Khalisah Pieter
22034010113

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Kinetika Adsorpsi GAC dan Zeolit pada Kolom *Fixed-Bed* untuk Air Gambut Pasca Koagulasi-Flokulasi”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

Penyusunan skripsi ini melalui berbagai tahapan yang tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dukungan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Firra Rosariawari, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Aussie Amalia, S.T., M.Sc. dan R. Mohammad Alghaf Dienullah, S.T., M.T., yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta saran selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi ini. Setiap arahan dan evaluasi yang diberikan menjadi bagian penting dalam membantu penulis menyelesaikan penelitian dan menyempurnakan skripsi ini.
4. Dr. Aulia Ulfah Farahdiba, S.T., M.Sc. dan M.A.S. Jawwad, S.T., M.Sc, yang telah memberikan kritik, saran, serta masukan yang membangun sebagai bahan evaluasi dan penyempurnaan skripsi ini.
5. Ayah, Bunda, dan Fia, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, serta motivasi kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas segala kesabaran,

pengertian, dan kepercayaan yang diberikan, terutama pada setiap proses dan kesulitan yang penulis hadapi selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi.

6. Teman-teman seperjuangan angkatan 2022 di Program Studi Teknik Lingkungan, khususnya “9 Naga” Helga, Nadia, Seren, Nana, Rigel, Ani, Adel, dan Tasya, serta Sabrina, Angel, Naura, Rio, dan Ernest yang telah menemani perjalanan penulis selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi. Terima kasih atas kebersamaan, bantuan, dukungan, cerita, dan semangat yang diberikan selama menjalani berbagai proses akademik. Kehadiran dan kebersamaan kalian telah menjadi bagian yang berarti dalam perjalanan penulis menyelesaikan pendidikan ini.
7. Sahabat terbaik penulis, Naila, Ipeh, Ghina, Nurayu, dan Shafa yang senantiasa memberikan semangat, motivasi, serta dukungan selama proses penyusunan tugas akhir. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita, keluh kesah, dan berbagai hal yang tidak selalu dapat penulis ungkapkan kepada orang lain. Kehadiran kalian menjadi salah satu sumber kekuatan bagi penulis untuk terus melangkah dan bertahan, terutama ketika proses penyusunan tugas akhir terasa berat dan melelahkan. Terima kasih telah tetap hadir dan menemani penulis hingga akhirnya dapat menyelesaikan perjalanan ini.
8. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan, dukungan, maupun doa selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan memperoleh balasan yang berlimpah dari Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Meskipun demikian, seluruh tahapan penelitian, mulai dari persiapan, pelaksanaan penelitian, pengumpulan dan pengolahan data, analisis hasil, hingga penyusunan kesimpulan telah dilakukan dengan sebaik-baiknya.

Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan sebagai bahan evaluasi dan perbaikan.

Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang Teknik Lingkungan dan pengolahan air melalui proses adsorpsi menggunakan GAC dan zeolit. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa maupun peneliti selanjutnya dalam mengembangkan penelitian dengan topik yang relevan.

Surabaya, 13 Agustus 2026

Nasywa Khalisah Pieter

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
ABSTRAK	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.3.1 Maksud.....	3
1.3.2 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Lingkup Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan Umum.....	6
2.1.1 Air Gambut	6
2.1.2 Karakteristik Umum Air Gambut.....	7
2.1.3 Parameter Kualitas Air Gambut	7
2.1.4 Bahan Organik Alami dalam Air	9
2.1.5 Adsorpsi sebagai Metode Pengolahan Air	10
2.1.6 Karakteristik Adsorben	11
2.1.7 Sistem <i>Fixed-Bed Column</i>	13
2.2 Landasan Teori	14
2.2.1 Kurva <i>Breakthrough</i>	14

2.2.2 Model Kinetika Thomas.....	16
2.2.3 Model Kinetika Yoon-Nelson	17
2.2.4 Analisis BET	18
2.3 Penelitian Terdahulu.....	19
2.3.1 Studi Adsorpsi Bahan Organik.....	19
2.3.2 Studi Pemodelan Kinetika <i>Fixed-Bed Column</i>	22
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Kerangka Penelitian	24
3.2 Bahan dan Alat	26
3.2.1 Bahan	26
3.2.2 Alat.....	26
3.3 Cara Kerja	26
3.4 Variabel	29
3.4.1 Variabel Bebas.....	29
3.4.2 Variabel Kontrol.....	29
3.4.3 Variabel Terikat	29
3.5 Analisis Data	30
3.5.1 Perhitungan Efisiensi Penyisihan.....	30
3.5.2 Analisis Kapasitas Adsorpsi	30
3.5.3 Analisis Karakteristik Adsorben (BET)	30
3.5.4 Analisis Statistik	31
3.5.5 Metode Kinetika.....	32
3.6 Jadwal Kegiatan	34
3.7 Rencana Anggaran Biaya	34
3.8 Matriks Penelitian	35
3.8.1 Matriks Penelitian Variasi Rasio dan Kedalaman <i>Bed</i>	35
3.8.2 Matriks Penelitian Analisis Kinetika.....	37

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Karakteristik Air Baku	39
4.2 Kinerja Adsorben terhadap Parameter	40
4.2.1 Kinerja GAC dan Zeolit terhadap pH	40
4.2.2 Kinerja GAC dan Zeolit terhadap COD.....	45
4.2.3 Kinerja GAC dan Zeolit terhadap DOM.....	49
4.2.4 Kinerja GAC dan Zeolit terhadap TDS.....	54
4.2.5 Kinerja GAC dan Zeolit terhadap Warna.....	58
4.3 Karakteristik Luas Permukaan dan Pori GAC dan Zeolit Sebelum dan Sesudah Adsorpsi Berdasarkan Analisis BET	64
4.3.1 Hasil Analisis BET	64
4.3.2 Distribusi Ukuran Pori Berdasarkan Metode BJH.....	64
4.3.3 Isoterm Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen	72
4.3.4 Keterkaitan Karakteristik Adsorben dengan Kinerja Air Gambut	76
4.4 Pemodelan Kinetika Adsorpsi pada Kolom <i>Fixed-Bed</i> Menggunakan Model Thomas dan Yoon-Nelson	77
4.4.1 Analisis Kurva <i>Breakthrough</i> pada Variasi Kedalaman <i>Bed</i>	78
4.4.2 Pemodelan Kinetika Adsorpsi pada Kolom <i>Fixed-Bed</i> Model Thomas	80
4.4.3 Pemodelan Kinetika Adsorpsi pada Kolom <i>Fixed-Bed</i> Model Yoon- Nelson	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	93
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA.....	96
LAMPIRAN.....	104

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Model Adsorpsi Kolom dan Parameter Kinetika yang Digunakan	14
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu Studi Adsorpsi Bahan Organik	19
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu Studi Pemodelan Kinetika <i>Fixed-Bed Column</i> ..	22
Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan.....	34
Tabel 3. 2 Rencana Anggaran Biaya.....	34
Tabel 3. 3 Matriks Penelitian	35
Tabel 3. 4 Matriks Penelitian Parameter.....	36
Tabel 4. 1 Karakteristik Awal Air Baku.....	39
Tabel 4. 2 Hasil Karakteristik Luas Permukaan dan Karakteristik Pori GAC dan Zeolit pada Berbagai Tahap Perlakuan Berdasarkan Analisis BET	64
Tabel 4. 3 Parameter Model Thomas pada Variasi Kedalaman Bed.....	82
Tabel 4. 4 Parameter Model Yoon-Nelson pada Variasi Kedalaman Bed	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Adsorpsi.....	10
Gambar 2. 2 <i>Granular Activated Carbon</i>	11
Gambar 2. 3 Zeolit.....	12
Gambar 2. 4 Kurva <i>Breakthrough</i> Ideal	15
Gambar 3. 1 Diagram Kerangka Penelitian.....	25
Gambar 3. 2 Rancangan Reaktor	27
Gambar 4. 1 Konsentrasi Nilai pH Akhir pada Setiap Rasio Adsorben (GAC:Zeolit) di Setiap Kedalaman <i>Bed</i>	41
Gambar 4. 2 Konsentrasi Nilai pH Akhir pada Setiap Rasio Adsorben (Zeolit:GAC) di Setiap Kedalaman <i>Bed</i>	42
Gambar 4. 3 Nilai Konsentrasi COD Akhir pada Setiap Rasio Adsorben (GAC:Zeolit) di Setiap Kedalaman <i>Bed</i>	45
Gambar 4. 4 Nilai Konsentrasi COD Akhir pada Setiap Rasio Adsorben (Zeolit:GAC) di Setiap Kedalaman <i>Bed</i>	46
Gambar 4. 5 Nilai Konsentrasi DOM Akhir pada Setiap Rasio Adsorben (GAC:Zeolit) di Setiap Kedalaman <i>Bed</i>	49
Gambar 4. 6 Nilai Konsentrasi DOM Akhir pada Setiap Rasio Adsorben (Zeolit:GAC) di Setiap Kedalaman <i>Bed</i>	50
Gambar 4. 7 Nilai Konsentrasi TDS Akhir pada Setiap Rasio Adsorben (GAC:Zeolit) di Setiap Kedalaman <i>Bed</i>	54
Gambar 4. 8 Nilai Konsentrasi TDS Akhir pada Setiap Rasio Adsorben (Zeolit:GAC) di Setiap Kedalaman <i>Bed</i>	55
Gambar 4. 9 Nilai Konsentrasi Warna Akhir pada Setiap Rasio Adsorben (GAC:Zeolit) di Setiap Kedalaman <i>Bed</i>	59
Gambar 4. 10 Nilai Konsentrasi Warna Akhir pada Setiap Rasio Adsorben (Zeolit:GAC) di Setiap Kedalaman <i>Bed</i>	59
Gambar 4. 11 Distribusi Ukuran Pori GAC Berdasarkan Metode BJH pada Setiap Tahap Perlakuan	69

Gambar 4. 12 Distribusi Ukuran Pori Zeolit Berdasarkan Metode BJH pada Setiap Tahap Perlakuan	70
Gambar 4. 13 Isoterm Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen GAC pada Setiap Tahap Perlakuan.....	73
Gambar 4. 14 Isoterm Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen Zeolit pada Setiap Tahap Perlakuan.....	74
Gambar 4. 15 Profil Rasio Konsentrasi DOM (C_t/C_0) terhadap Waktu pada Variasi Kedalaman <i>Bed</i>	78
Gambar 4. 16 Linierisasi Model Thomas pada Variasi Kedalaman <i>Bed</i>	81
Gambar 4. 17 Linierisasi Model Yoon-Nelson pada Variasi Kedalaman <i>Bed</i>	87

ABSTRAK

Air gambut memiliki potensi sebagai sumber air baku, terutama pada wilayah dengan ketersediaan air gambut yang melimpah, namun pemanfaatannya masih terkendala oleh kandungan bahan organik dan warna yang tinggi sehingga memerlukan pengolahan yang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja kombinasi *Granular Activated Carbon* (GAC) dan zeolit pada kolom *fixed-bed* dalam mengolah air gambut pasca koagulasi–flokulasi, menentukan kondisi adsorpsi optimum, mengevaluasi perubahan karakteristik adsorben melalui analisis *Brunauer–Emmett–Teller* (BET), serta menganalisis kinetika adsorpsi menggunakan model Thomas dan Yoon–Nelson. Pengolahan awal dilakukan melalui koagulasi–flokulasi menggunakan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan kapur tohor, kemudian dilanjutkan dengan adsorpsi secara *up-flow* menggunakan variasi komposisi GAC dan zeolit serta kedalaman *bed* 5, 7,5, dan 10 cm pada debit 5 mL/menit. Kinerja proses dievaluasi berdasarkan parameter pH, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Dissolved Organic Matter* (DOM), *Total Dissolved Solids* (TDS), dan warna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi Zeolit:GAC 75:25 pada kedalaman *bed* 10 cm memberikan kinerja keseluruhan terbaik dengan penurunan COD dari 432 menjadi 16 mg/L (96,3%), DOM dari 6,6504 menjadi sekitar 4,13 mg/L (37,9%), TDS dari 164 menjadi 88 ppm (46,34%), dan warna dari 20,3 menjadi sekitar 13 Pt-Co (36%). Analisis kinetika menunjukkan bahwa model Thomas dan Yoon–Nelson menunjukkan bahwa rentang pengamatan 0-90 menit telah mampu menggambarkan terjadinya *breakthrough*, tetapi belum mencakup keseluruhan perkembangan kurva hingga mencapai kondisi kejenuhan kolom. Secara keseluruhan, kombinasi zeolit dan GAC pada kolom *fixed-bed* berpotensi meningkatkan kualitas air gambut pasca koagulasi–flokulasi, dengan komposisi adsorben dan kedalaman *bed* sebagai faktor yang memengaruhi kinerja proses.

Kata kunci: air gambut, adsorpsi, GAC, zeolit, *fixed-bed*, kinetika adsorpsi

ABSTRACT

Peat water has potential as a source of raw water, especially in areas with abundant peat water supplies; however, its use is still hampered by high organic content and color, thus requiring effective treatment. This study aims to analyze the performance of a combination of Granular Activated Carbon (GAC) and zeolite in a fixed-bed column for treating peat water after coagulation–flocculation, determine the optimal adsorption conditions, evaluate changes in adsorbent characteristics through Brunauer–Emmett–Teller (BET) analysis, and analyze the adsorption kinetics using the Thomas and Yoon–Nelson models. Preliminary treatment was performed via coagulation–flocculation using polyaluminum chloride (PAC) and quicklime, followed by up-flow adsorption using varying compositions of GAC and zeolite and bed depths of 5, 7.5, and 10 cm at a flow rate of 5 mL/minute. Process performance was evaluated based on the parameters of pH, Chemical Oxygen Demand (COD), Dissolved Organic Matter (DOM), Total Dissolved Solids (TDS), and color. The results of the study showed that a 75:25 zeolite:GAC combination at a bed depth of 10 cm provided the best overall performance, with a reduction in COD from 432 to 16 mg/L (96.3%), DOM from 6.6504 to approximately 4.13 mg/L (37.9%), TDS from 164 to 88 ppm (46.34%), and color from 20.3 to approximately 13 Pt-Co (36%). Kinetic analysis shows that the Thomas and Yoon–Nelson models indicate that the 0–90-minute observation range has been able to describe the occurrence of breakthrough, but does not yet cover the entire curve development until the column reaches saturation. Overall, the combination of zeolite and GAC in a fixed-bed column has the potential to improve the quality of peat water after coagulation–flocculation, with the composition of the adsorbents and bed depth serving as factors that influence the performance of the process.

Keywords: peat water, adsorption, GAC, zeolite, fixed-bed, adsorption kinetics