

Adsorpsi Ion Amonium dari Larutan Encer Menggunakan Zeolit Alam Sarulla Termodifikasi KCl

Ammonia Removal from Aqueous Solution using KCl-modified Sarulla's Natural Zeolite

Amir Husin^{1*}, Hamidah Harahap¹, Wan Rizki Ansari¹, Denny Supriharti², Fadhila Fadhila³

¹Departemen Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater Kampus USU Medan 20155, Indonesia

²Departemen Biologi, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater Kampus USU Medan 20155, Indonesia

³Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater Kampus USU, Medan, 20155, Indonesia

*Email: amir4@usu.ac.id

Article history:

Diterima : 23 April 2024
Direvisi : 1 Agustus 2024
Disetujui : 30 Januari 2025
Mulai online : 27 Maret 2025

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Amir Husin, Hamidah Harahap, Wan Rizki Ansari, Denny Supriharti, Fadhila Fadhila. (2025). Adsorpsi Ion Amonium dari Larutan Encer Menggunakan Zeolit Alam Sarulla Termodifikasi KCl. Jurnal Teknik Kimia USU, 14(1), 36-43.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas zeolit alam Sarulla yang dimodifikasi dengan larutan KCl dalam menghilangkan ion ammonium dari larutan encer. Zeolit dimodifikasi melalui proses perendaman selama 24 jam dalam larutan KCl dengan konsentrasi 0,5 M (ZA05) dan 1,5 M (ZA15) pada rasio solid/solvent 1:3 (berat/volume). Metode adsorpsi dilakukan secara batch menggunakan orbital shaker pada kecepatan 100 rpm dengan variasi waktu kontak antara 0 hingga 210 menit. Konsentrasi awal larutan ammonium adalah 100 mg/L, dan pengujian dilakukan menggunakan UV-visible spektrofotometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorben ZA05 dan ZA15 memiliki efisiensi penghilangan ion ammonium sebesar 14,62% dan 12,29%. Analisis isotherm adsorpsi menggunakan model Langmuir dan Freundlich menunjukkan kecocokan yang baik dengan data kesetimbangan, di mana ZA15 memiliki kapasitas adsorpsi maksimum yang lebih tinggi dibanding ZA05. Penelitian ini mengonfirmasi potensi zeolit alam Sarulla termodifikasi sebagai material adsorben yang efektif untuk pengolahan air limbah.

Kata kunci: zeolit alam, ammonium, model kinetik, isotherm adsorpsi

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effectiveness of KCl-modified Sarulla natural zeolite in removing ammonium ions from aqueous solutions. The zeolite was modified by soaking in 0.5 M (ZA05) and 1.5 M (ZA15) KCl solutions for 24 hours at a solid/solvent ratio of 1:3 (weight/volume). The adsorption process was conducted in batch mode using an orbital shaker at a speed of 100 rpm, with contact times ranging from 0 to 210 minutes. The initial ammonium ion concentration was 100 mg/L, and the analysis was performed using a UV-visible spectrophotometer. The results showed that ZA05 and ZA15 adsorbents achieved ammonium ion removal efficiencies of 14.62% and 12.29%, respectively. Adsorption isotherm analysis using the Langmuir and Freundlich models demonstrated a good fit with the equilibrium data, with ZA15 exhibiting a higher maximum adsorption capacity than ZA05. This study confirms the potential of KCl-modified Sarulla natural zeolite as an effective adsorbent material for wastewater treatment.

Keyword: natural zeolite, ammonium, kinetic model, adsorption isotherm



This work is licensed under a Creative Commons
Attribution-ShareAlike 4.0 International
<https://doi.org/10.32734/jtk.v14i1.16240>

1. Pendahuluan

Nitrogen merupakan salah satu unsur penting dalam sintesa protein bagi mikroorganisme, hewan maupun tumbuhan. Pada badan air atau limbah cair, nitrogen sering dijumpai dalam bentuk amoniak (NH_3), ion amonium (NH_4^+), ion nitrit (NO_2^-) maupun ion nitrat (NO_3^-) yang bersifat larut dalam air [1].

Dalam jumlah tertentu, senyawa-senyawa nitrogen seperti nitrit (NO_2^-) bersifat toksik bagi sebagian besar ikan dan spesies air lainnya. Nitrit dalam air limbah dapat teroksidasi oleh klorin, sehingga meningkatkan kebutuhan dosis klorin dan biaya desinfeksi. Konsentrasi ammonium yang tinggi pada badan air juga dilaporkan merupakan salah satu faktor yang berkontribusi pada eutrofikasi pada air permukaan [2]. Menanggapi masalah ini, banyak negara telah menetapkan secara ketat peraturan tentang konsentrasi amonia yang diperbolehkan pada air permukaan [3]. Pemerintah Indonesia menetapkan batas maksimum 0,1 mg/L sebagai $\text{NH}_3\text{-N}$ untuk air sungai kelas 1. Sementara untuk air danau dan perairan, nilai maksimum yang diperbolehkan adalah 0,6 mg/L sebagai total-N.

Berbagai metode penghilangan senyawa nitrogen dari larutan berair telah dilaporkan, termasuk proses adsorpsi, air stripping, perlakuan biologis (nitrifikasi/denitrifikasi), chemical co-precipitation, elektrolisis, catalytic wet-air oxidation, pertukaran ion dan proses membran [3], [4]. Banyak dari metode yang diusulkan memiliki keterbatasan, termasuk biaya tinggi, efisiensi penyisihan rendah, sensitivitas terhadap perubahan pH dan suhu lingkungan. Adsorpsi dianggap sebagai teknik sederhana dan efektif untuk menghilangkan kontaminan dari air limbah. Metode ini dilaporkan memiliki sejumlah keunggulan antara lain efisiensi penghilangan yang tinggi, konsumsi energi rendah, biaya operasi dan maintenance rendah, serta ramah lingkungan [3]. Salah satu adsorben yang banyak dilaporkan untuk mengolah air maupun air limbah adalah zeolit [5]. Zeolit alam merupakan bahan mineral, relatif murah, dan tersedia secara lokal. Ada beberapa jenis zeolite yang dijumpai di alam, diantaranya termasuk klinoptilolit, analcime, mordenit, phillipsite, heulandite, dachiardite dan chabazite [6]. Klinoptilolit merupakan salah satu zeolit alam yang paling melimpah dan banyak digunakan karena sifat pertukaran ionnya [7]. Di Indonesia, zeolit alam dapat dijumpai di beberapa daerah termasuk diantaranya Sarulla (Sumatera Utara), Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara Timur dan Sulawesi [8].

Kapasitas adsorpsi zeolit alam yang rendah membatasi penggunaannya secara luas sebagai bahan penyerap. Sebelum digunakan, zeolit alam biasanya dimodifikasi untuk meningkatkan efisiensi adsorpsinya melalui berbagai perlakuan-awal termasuk di antaranya penggunaan asam, basa, garam dan surfaktan kationik [6]. Perlakuan asam bertujuan menghilangkan bahan pengotor zeolit melalui penggantian kation dengan kation H^+ [9]. Perlakuan dengan basa dapat melarutkan Si dalam zeolit sehingga menurunkan rasio Si/Al [10], sementara perlakuan dengan garam bertujuan menghilangkan air atau kotoran anorganik dengan menukar ion logam di dalam struktur [11]. Oleh karena itu, melalui perlakuan asam, basa atau garam akan dihasilkan peningkatan ketersediaan situs adsorpsi, luas permukaan, mikroporositas serta rasio Si/Al [9]. Interaksi antara zeolit alam dan surfaktan kationik dapat terjadi melalui pertukaran kation organik surfaktan dan kation anorganik zeolit, sehingga membentuk permukaan positif pada zeolit [12]. Proses tersebut memungkinkan zeolit alam dapat diubah menjadi adsorben multifungsi yang cocok untuk serapan kation, anion, dan spesies molekul dari berbagai sumber polusi [13].

Dalam penelitian ini, zeolit alam Sarulla teraktivasi secara fisika dan kimia digunakan sebagai adsorben untuk penghilangan ion NH_4^+ dalam larutan encer. Aktivasi fisika dilakukan dengan cara pemanasan butiran zeolit alam berukuran 100 mesh pada temperatur 400°C, kemudian dilanjutkan dengan aktivasi kimia dengan cara perendaman dalam larutan KCl.

2. Metode

Bahan zeolit alam Sarulla diperoleh dari Tapanuli Utara, Indonesia. Bahan kimia yang digunakan adalah KCl (Merck), NH_4Cl (Merck) dan aquadest. Stok larutan amonium (1000 mg/L NH_4^+) disiapkan dengan melarutkan garam NH_4Cl menggunakan aquadest.

Preparasi Zeolit Alam Sarulla

Serbuk zeolit alam Sarulla berukuran 100 mesh terlebih dahulu dicuci dengan aquadest dan dikeringkan. Bahan kemudian dikalsinasi pada suhu 400°C selama 2 jam. Dua jenis bahan yang telah dikalsinasi direndam (*soaking*) selama 24 jam dalam larutan KCl 0,5 M (adsorben ZA05) dan 1,5 M (adsorben ZA15) pada rasio 1 : 3 berat/volum. Terakhir, zeolite dibilas dengan aquadest dan dikeringkan dalam oven. Sebelum digunakan, zeolit alam Sarulla teraktivasi dikarakterisasi terlebih dahulu untuk menentukan kandungan kebasahan (*moisture content*), kadar abu (*ash content*) dan bilangan iodin (*iodine number*). Hasil karakterisasi menunjukkan, bahwa adsorben zeolite alam Sarulla yang telah diaktivasi memiliki kandungan air 2,5% (wt), kadar abu 97,5% (wt) dan bilangan iodin 435,25 mg/g [14].

Batch experiments

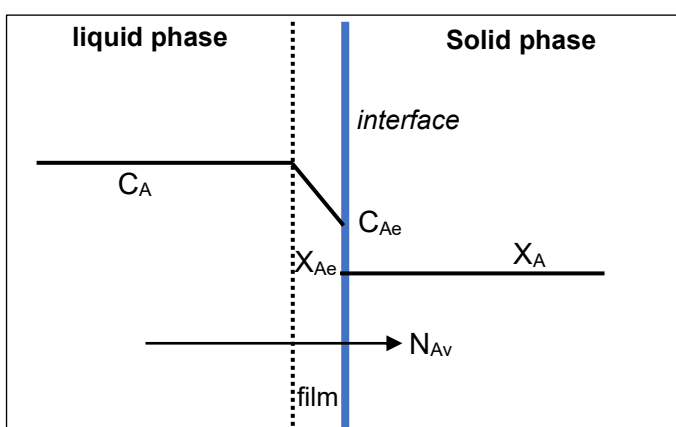
Pengaruh jenis adsorben zeolit alam teraktivasi terhadap penghilangan ion NH_4^+ dalam larutan encer dipelajari dalam percobaan *batch*. Ke dalam masing-masing 200 mL larutan yang mengandung 100 mg/L ion NH_4^+ ditambahkan 0,2 g adsorben ZA05 atau ZA15. Campuran diaduk pada kecepatan agitasi konstan 100 rpm menggunakan *orbital shaker*. Percobaan dilakukan selama 210 menit, dan pada setiap interval 30 menit sejumlah sampel dikeluarkan dipisahkan dengan filtrasi. Filtrat dianalisis untuk menentukan konsentrasi ion NH_4^+ menggunakan UV-visible spectrophotometer. Kapasitas adsorpsi sesaat (q_t) dan efisiensi penghilangan ion NH_4^+ (%R) dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2):

$$q_t = \frac{(C_{A0} - C_{At}) V}{m_s} \quad (1)$$

$$\%R = \frac{(C_{A0} - C_{At}) V}{C_{A0}} \quad (2)$$

C_{A0} dan C_{At} berturut-turut adalah konsentrasi ion NH_4^+ (mg/L) pada saat awal dan setiap saat. V adalah *volume* larutan (L) dan m_s adalah massa adsorben (g).

Kinerja adsorpsi lebih lanjut dipelajari dengan pendekatan model kinetika (Gambar 1) sebagaimana diusulkan oleh Sediawan dan Prasetya [15]. Tahap pertama adalah perpindahan massa solute dari fasa cairan ke permukaan butiran adsorben (*interface*) melewati tahanan film. Tahap kedua adalah difusi *solute* dari permukaan butiran adsorben ke dalam pori.



Gambar 1. Model transfer massa antar fasa satu film [17]

Karena ukuran butir-butir adsorben sangat kecil, laju difusi solute dari permukaan padatan (*interface*) ke dalam butir berlangsung sangat cepat, sehingga dianggap tidak mengontrol. Fraksi massa solute A dalam padatan (X_A) sama dengan fraksi massa solute A pada permukaan butir (X_{Ae}). Berdasarkan asumsi-asumsi tersebut, yang mengontrol kecepatan proses adsorpsi adalah transfer massa dari cairan ke permukaan butiran adsorben (N_{AV}) sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (3). Selanjutnya, neraca massa solute A (ion NH_4^+) dalam sistem adsorpsi dinyatakan dalam persamaan (4).

$$N_{AV} \left(\frac{\text{mg A}}{\text{jam} \cdot \text{L}} \right) = k_{ca} (C_A - C_{Ae}) \quad (3)$$

$$\frac{dC_A}{dt} = -k_{ca} \left(\frac{m_s}{\rho_s V_L} \right) (C_A - C_{Ae}) \quad (4)$$

Persamaan (4) menggambarkan perubahan konsentrasi solute A (ion NH_4^+) dalam cairan (mg/L/waktu) sebagai fungsi waktu. V_L adalah volume cairan (L), m_s adalah massa butir (g) dan ρ_s adalah densitas butir (g/L). C_A adalah konsentrasi ion NH_4^+ dalam cairan (mg/L), C_{Ae} adalah konsentrasi ion NH_4^+ dalam cairan yang setimbang dengan permukaan butir adsorben (mg/L), k_{ca} adalah koefisien mass transfer volumetrik (1/jam).

Dalam studi ini, percobaan adsorpsi menggunakan adsorben zeolit teraktivasi dilakukan secara batch pada kondisi isothermal. Data perubahan konsentrasi ion NH_4^+ pada berbagai waktu (t) dicatat dan digunakan untuk

memverifikasi model kinetik adsorpsi serta mengevaluasi nilai parameter model yaitu k_c dan C_{Ae} . Penyelesaian Persamaan (4) dilakukan secara numerik menggunakan metode Runge Kutta orde keempat. Nilai k_c dan C_{Ae} diestimasi dengan minimisasi Sum Square Error (SSE) antara data percobaan dengan data model (Persamaan 5) secara numerik dengan metode Hooke-Jeeves [15] menggunakan software Microsoft Excel.

$$SSE = \sum (C_{A,data} - C_{A,model})^2 \quad (5)$$

$C_{A,data}$ adalah konsentrasi ion NH_4^+ dalam cairan (mg/L) hasil percobaan; $C_{A,model}$ adalah konsentrasi ion NH_4^+ dalam cairan (mg/L) hasil perhitungan menggunakan model kinetika.

Uji Isotherm Adsorpsi

Uji isotherm adsorption untuk ion ammonium dilakukan dalam *orbital shaker* selama 24 jam pada temperatur ambien. Ke dalam lima unit beaker gelas yang masing-masing berisi 200 mL larutan amonium dan konsentrasi awal 100 mg/L ditambahkan adsorben ZA05 atau ZA15 dengan jumlah yang berbeda-beda (0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 dan 1,0 g). Untuk mengevaluasi kinerja adsorpsi, campuran dipisahkan dengan filtrasi. Konsentrasi ion NH_4^+ dalam filtrat dianalisis dengan metode Nessler menggunakan UV-visible spektrophotometer. Kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan fasa (q_e) dihitung menggunakan persamaan Persamaan (6),

$$q_e = \frac{(C_{A0} - C_{Ae}) V}{m_s} \quad (6)$$

C_{A0} dan C_{Ae} berturut-turut adalah konsentrasi ion NH_4^+ (mg/L) pada saat awal dan saat kesetimbangan fasa. V adalah volume larutan (L) dan m_s adalah massa adsorben (g). Hubungan kesetimbangan antara adsorbat ion amonium pada permukaan adsorben dan dalam fase larutan dapat dihubungkan melalui isotherm adsorpsi. Ada dua model isotherm adsorpsi yang diuji dalam studi ini yaitu model Langmuir dan model Freundlich [16] sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (7) dan (8).

$$q_e = \frac{q_m k_L C_e}{1 + k_L C_e} \quad (7)$$

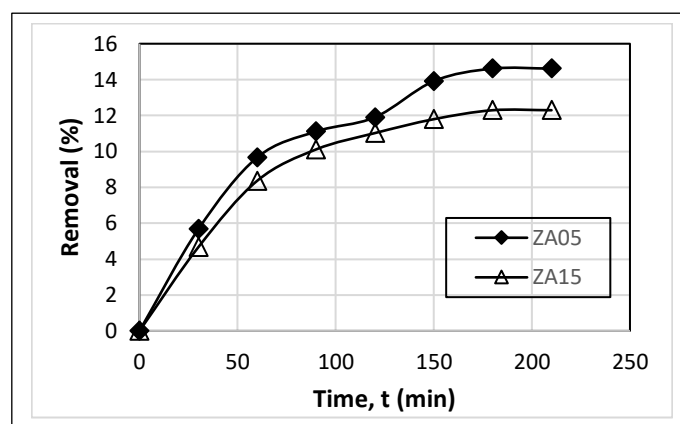
$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (8)$$

q_e adalah jumlah ion NH_4^+ yang terjerap pada saat kesetimbangan (mg/g), q_m adalah kapasitas adsorpsi maksimum jumlah ion NH_4^+ (mg/g) yang terjerap pada saat kesetimbangan. C_e adalah konsentrasi ion NH_4^+ pada saat kesetimbangan (mg/L), k_L adalah konstanta model Langmuir. K_F dan $1/n$ adalah konstanta Freundlich.

3. Hasil

Pengaruh waktu kontak

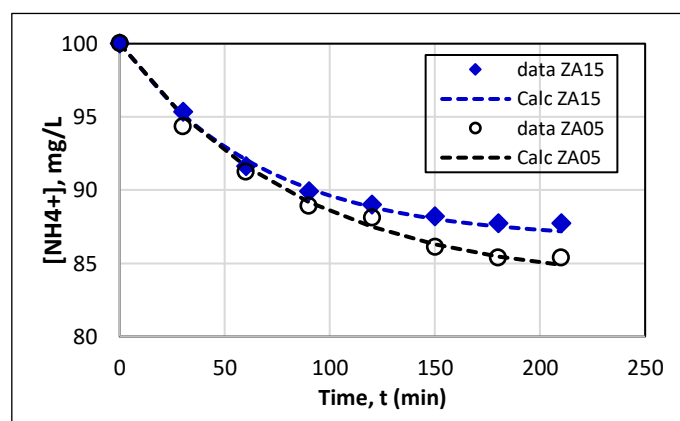
Jumlah ion amonium yang dihilangkan dari larutan pada waktu tertentu dapat dinyatakan dengan persentase fraksi yang dihilangkan terhadap konsentrasi awal. Hubungan antara persen penghilangan ion NH_4^+ oleh adsorben zeolit ZA05 dan ZA15 terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan grafik, proses adsorpsi ion amonium berlangsung dengan dua tahap. Pada tahap pertama, persen penghilangan ion NH_4^+ dijumpai berlangsung dengan cepat, kemudian pada tahap kedua adalah penghilangan lambat. Selama 60 menit pertama, persen penghilangan ion NH_4^+ dijumpai sebesar 8,364% dan 9,66% berturut-turut untuk ZA15 dan ZA05. Sementara pada perpanjangan waktu hingga akhir percobaan (menit ke 210), persen penghilangan polutan untuk adsorben ZA15 dan ZA05 tercatat berturut-turut 12,29% dan 14,62%. Fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh fakta bahwa situs adsorpsi pada zeolit termodifikasi masih kosong dan konsentrasi amonium sangat tinggi pada awal proses. Hasil tersebut serupa dengan yang dilaporkan dalam penelitian lain yang relevan. Widiastuti et al. [17] menjumpai bahwa penghilangan ion amonium oleh zeolit alam (berasal dari Australia) berlangsung dengan cepat dalam 15 menit pertama. Guo et al. [18] melaporkan, bahwa kapasitas adsorpsi zeolit terhadap NH_3 -N meningkat dengan cepat dalam 40 menit pertama, kemudian menjadi lebih lambat hingga kesetimbangan tercapai.



Gambar 2. Plot persen penghilangan ion NH_4^+ versus waktu kontak pada zeolit alam Sarulla teraktivasi ZA05 dan ZA15, massa adsorben 0,2 g, konsentrasi awal 100 mg/L sebagai ion NH_4^+ .

Kinetika Adsorpsi Penghilangan Ammonium

Data kinetika adsorpsi dievaluasi untuk memahami dinamika proses adsorpsi ion-ion NH_4^+ pada adsorben zeolit sebelum tercapai waktu kesetimbangan. Model kinetika adsorpsi batch sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 4 diimplementasikan untuk mengevaluasi koefisien mass transfer volumetrik (k_{ca}). Gambar 3 menunjukkan plot kesesuaian data hasil percobaan dan model transfer massa antar-fasa satu film. Nilai koefisien mass transfer volumetrik masing-masing adsorben ZA05 dan ZA15 ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 3. Plot konsentrasi ion NH_4^+ versus waktu kontak pada adsorben zeolit teraktivasi ZA05 dan ZA15, massa adsorben 0,2 g, konsentrasi awal 100 mg/L sebagai ion NH_4^+ .

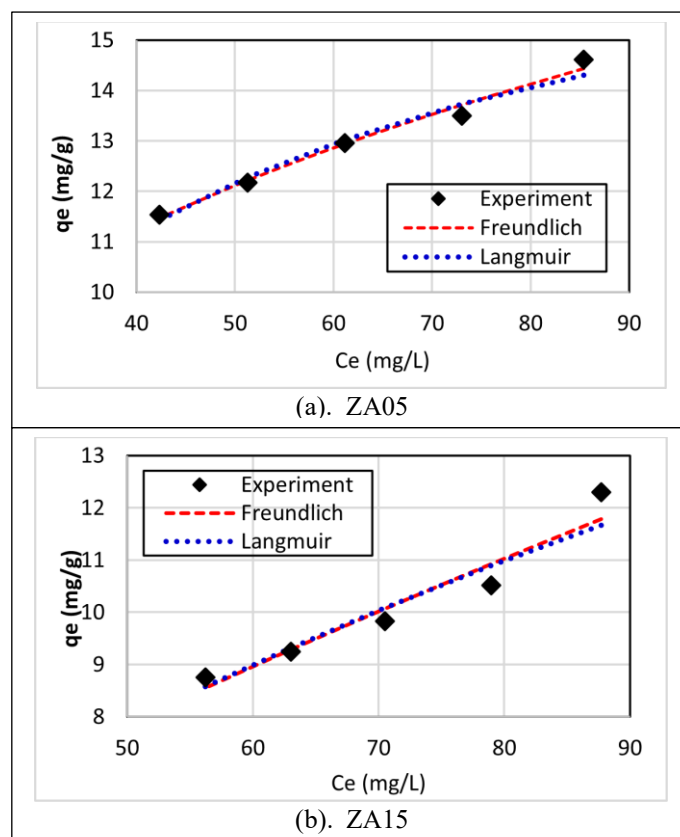
Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat bahwa perubahan konsentrasi ion NH_4^+ hasil simulasi berhimpit dengan data hasil percobaan baik untuk adsorben ZA05 maupun ZA15. Nilai SSE hasil simulasi untuk adsorben ZA05 dan ZA15 berturut-turut adalah 1,405 dan 0,063 (Tabel 1). Hal ini mengindikasikan, bahwa proses adsorpsi ion NH_4^+ pada adsorben zeolite teraktivasi ZA05 dan ZA15 dapat dimodelkan dengan baik menggunakan model transfer massa antar-fasa satu film. Berdasarkan hasil perhitungan sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1, perendaman bahan zeolit alam Sarulla dalam larutan KCl 1,5 M selama 24 jam meningkatkan nilai koefisien mass transfer volumetrik (k_{ca}) baik adsorben ZA05 ($10,97 \text{ jam}^{-1}$) maupun ZA15 ($13,70 \text{ jam}^{-1}$). Sementara itu, peningkatan konsentrasi ion ammonium dalam cairan pada saat setimbang (C_{Ae}) untuk adsorben ZA15 dijumpai hanya sebesar 3,65% dibanding adsorben ZA05.

Tabel 1. Parameter Model Kinetika Adsorpsi

Tipe Adsorben	$k_{ca} \text{ (men}^{-1}\text{)}$	$C_e \text{ (mg/L)}$	SSE
ZA05	10,968	83,549	1,405
ZA15	13,70	86,60	0,063

Adsorption Isotherm

Dalam studi ini, dua model isotherm adsorpsi (Langmuir dan Freundlich) diuji untuk mendapatkan korelasi yang paling sesuai dari kurva kesetimbangan hasil percobaan. Nilai parameter kedua model isotherm adsorpsi dihitung dari slope dan intercept plot berturut-turut menggunakan persamaan (7) dan (8). Gambar 4(a) dan (b) merepresentasikan kesesuaian data hasil perhitungan menggunakan model isotherm adsorpsi Langmuir dan Freundlich dengan data hasil percobaan. Nilai parameter isotherm Langmuir dan Freundlich untuk adsorpsi NH_4^+ menggunakan adsorben zeolit ZA05 dan ZA15 ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 4. Plot konsentrasi ion NH_4^+ versus kapasitas adsorpsi pada adsorben zeolit teraktivasi, massa adsorben 0,2 g, konsentrasi awal 100 mg/L sebagai ion NH_4^+ . (a) ZA05, (b) ZA15.

Berdasarkan hasil studi, kedua model isotherm adsorpsi dapat menggambarkan dengan baik proses isotherm adsorpsi. Sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2, fitting model Freundlich menunjukkan koefisien korelasi (R^2) lebih baik dibanding model Langmuir (R^2 : 0,987 untuk ZA15 dan 0,936 untuk ZA05). Sementara model Langmuir (R^2 : 0,975 untuk ZA15 dan 0,933 untuk ZA05). Hal ini mengindikasikan, bahwa adsorben memiliki permukaan yang heterogen dengan distribusi situs adsorpsi yang tidak seragam dan chemisorpsi merupakan mekanisme yang utama penghilangan NH_4^+ dari larutan [16].

Tabel 2. Parameter Isotherm Adsorpsi

Model Isotherm	Parameter	Satuan	Tipe Adsorben	
			ZA05	ZA15
Langmuir	q_m	mg/g	19,010	32,681
	k_L	L/mg	0,0356	0,0063
	R^2	---	0,9750	0,9331
Freundlich	K_F		3,3663	0,4682
	n	---	3,0544	1,3869
	R^2	---	0,9870	0,9358

Nilai kapasitas adsorpsi, q_m dihitung menggunakan Persamaan (7) dan dijumpai berturut-turut sebesar 19,01 mg/g (ZA05) dan 32,681 mg/g (ZA15) (Tabel 3). Perendaman zeolit alam Sarulla dalam larutan KCl 1,5 M

selama 24 jam mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi maksimum (q_m) sebesar 72% dibanding perendaman dalam larutan KCl 0,5 M (ZA05). Tabel 3 menunjukkan perbandingan nilai kapasitas adsorpsi maksimum zeolit untuk penghilangan ion NH_4^+ yang telah dilaporkan oleh sejumlah peneliti.

Tabel 3. Nilai q_m adsorben zeolit untuk adsorpsi ion NH_4^+

Tipe adsorben	q_m (mg/g)	Referensi
zeolit alam	6,30	[19]
zeolite alam clynoptilolyte	9,217	[20]
zeolite alam Malang	32,38	[21]
zeolite alam termodifikasi potassium permanganate	3,685	[22]
zeolite alam termodifikasi ZA05	19,01	Studi ini
zeolite alam termodifikasi ZA15	32,681	Studi ini

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi yang telah dilakukan dapat disimpulkan, bahwa zeolit alam Sarulla termodifikasi menunjukkan kinerja penghilangan ion NH_4^+ yang baik dengan efisiensi penghilangan 12,295% untuk adsorben ZA15 dan 14,62% untuk ZA05. Model kinetika adsorpsi berbasis transfer massa dapat digunakan pada proses adsorpsi ion NH_4^+ . Hasil isotherm adsorpsi mengindikasikan bahwa baik model Langmuir maupun Freundlich menghasilkan fitting yang baik untuk data kesetimbangan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Rektor Universitas Sumatera Utara atas kesempatan yang diberikan untuk melaksanakan riset melalui Penelitian Talenta USU tahun anggaran 2021.

6. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] S. K. Ong, *Wastewater Engineering*. 2007. doi: 10.1002/9780470168219.ch8.
- [2] Y. P. Li, C. Y. Tang, Z. B. Yu, and K. Acharya, "Correlations between algae and water quality: Factors driving eutrophication in Lake Taihu, China," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 169–182, 2014, doi: 10.1007/s13762-013-0436-4.
- [3] H. Runtti *et al.*, "Removal of Ammonium Ions from Aqueous Solutions Using Alkali-Activated Analcime as Sorbent," *ChemEngineering*, vol. 7, no. 1, 2023, doi: 10.3390/chemengineering7010005.
- [4] V. K. Gupta, H. Sadegh, M. Yari, R. Shahryari Ghoshekandi, B. Maazinejad, and M. Chahardori, "Removal of ammonium ions from wastewater a short review in development of efficient methods," *Glob. J. Environ. Sci. Manag.*, vol. 1, no. 2, pp. 149–158, 2015, doi: 10.7508/gjesm.2015.02.007.
- [5] Q. Cheng *et al.*, "Study on the adsorption of nitrogen and phosphorus from biogas slurry by NaCl-modified zeolite," *PLoS One*, vol. 12, no. 5, pp. 1–12, 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0176109.
- [6] M. K. Nizam, S. Azhari, and M. A. Tamar Jaya, "Modified Zeolite as Purification Material in Wastewater Treatment: A Review," *Sci. Res. J.*, vol. 18, no. 2, pp. 177–213, 2021, doi: 10.24191/srj.v18i2.12092.
- [7] M. Kuronen, M. Weller, R. Townsend, and R. Harjula, "Ion exchange selectivity and structural changes in highly aluminous zeolites," *React. Funct. Polym.*, vol. 66, no. 11, pp. 1350–1361, 2006, doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2006.03.019.
- [8] J. L. Sihombing, S. Gea, A. N. Pulungan, H. Agusnar, B. Wirjosentono, and Y. A. Hutapea, "The characterization of Sarulla natural zeolite crystal and its morphological structure," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2049, no. December, 2018, doi: 10.1063/1.5082467.
- [9] L. Velarde, M. S. Nabavi, E. Escalera, M. L. Antti, and F. Akhtar, "Adsorption of heavy metals on natural zeolites: A review," *Chemosphere*, vol. 328, no. March, p. 138508, 2023, doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.138508.
- [10] J. Shi *et al.*, "Preparation and application of modified zeolites as adsorbents in wastewater treatment," *Water Sci. Technol.*, vol. 2017, no. 3, pp. 621–635, 2017, doi: 10.2166/wst.2018.249.
- [11] J. Liu, X. Cheng, Y. Zhang, X. Wang, Q. Zou, and L. Fu, "Zeolite modification for adsorptive removal of nitrite from aqueous solutions," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 252, pp. 179–187, 2017, doi: 10.1016/j.micromeso.2017.06.029.

- [12] M. Noroozifar, M. Khorasani-Motlagh, and H. Naderpour, “Modified nanocrystalline natural zeolite for adsorption of arsenate from wastewater: Isotherm and kinetic studies,” *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 197, pp. 101–108, 2014, doi: 10.1016/j.micromeso.2014.05.037.
- [13] N. S. Dionisiou and T. Matsi, *Natural and Surfactant-Modified Zeolite for the Removal of Pollutants (Mainly Inorganic) From Natural Waters and Wastewaters*. Elsevier Inc., 2016. doi: 10.1016/B978-0-12-803837-6.00023-8.
- [14] W. R. Ansari, H. Harahap, and A. Husin, “Fixed-bed column adsorption performance for ammonia removal using adsorbent from zeolite,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1122, no. 1, p. 012076, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1122/1/012076.
- [15] W. B. Sediawan, A. Prasetya, and T. Syarif, "Pemodelan matematis dan penyelesaian numeris dalam teknik kimia dengan pemrograman bahasa MATLAB, ". *J. Ilmu Pendidik.*, vol. 7, no. 2, pp. 809–820, 2020.
- [16] K. Y. Foo and B. H. Hameed, “Insights into the modeling of adsorption isotherm systems,” *Chem. Eng. J.*, vol. 156, no. 1, pp. 2–10, 2010, doi: 10.1016/j.cej.2009.09.013.
- [17] N. Widiastuti, H. Wu, H. M. Ang, and D. Zhang, “Removal of ammonium from greywater using natural zeolite,” *Desalination*, vol. 277, no. 1–3, pp. 15–23, 2011, doi: 10.1016/j.desal.2011.03.030.
- [18] H. Guo, X. Zhang, and J. Liu, “Ion-exchange capability for ammonium removal using zeolite modified by potassium permanganate,” *Chem. Eng. Trans.*, vol. 55, pp. 163–168, 2016, doi: 10.3303/CET1655028.