



KARAKTERISASI MINERALOGI, ISOTERM, KINETIKA, DAN TERMODINAMIKA LDH MgAl/MgAlFe: STUDI ADSORPSI-DESORPSI Cr(VI) SEBAGAI MODEL APLIKASI

NAUFAL RAZAAN



**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Karakterisasi Mineralogi, Isoterm, Kinetika, dan Termodinamika LDH MgAl/MgAlFe: Studi Adsorpsi-Desorpsi Cr(VI) sebagai Model Aplikasi” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Februari 2026

Naufal Razaan
G4501222032

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

NAUFAL RAZAAN. Karakterisasi Mineralogi, Isoterm, Kinetika, dan Termodinamika LDH MgAl/MgAlFe: Studi Adsorpsi-Desorpsi Cr(VI) sebagai Model Aplikasi. Dibimbing oleh ZAENAL ABIDIN, dan IRMA HERAWATI SUPARTO.

Pencemaran air oleh limbah logam khususnya kromium heksavalen (Cr(VI)), merupakan ancaman serius bagi lingkungan dan kesehatan makhluk hidup karena sifatnya yang beracun. Salah satu metode yang efektif dalam meremediasi Cr(VI) dari lingkungan perairan adalah metode adsorpsi menggunakan material *Layered double hydroxide* (LDH). Material LDH sendiri dipilih karena kapasitas adsorpsinya tinggi, proses yang mudah, dan memiliki kemampuan pertukaran ionnya yang baik. Untuk meningkatkan kinerja material LDH, penelitian ini memodifikasi LDH MgAl dengan menambahkan besi (Fe) menjadi LDH MgAlFe, dengan tujuan mengkaji perbedaan sifat mineralogi, mekanisme adsorpsi-desorpsi, dan kemampuan desorpsi kedua material tersebut.

Sintesis material LDH MgAl dan MgAlFe berhasil dilakukan melalui metode kopresipitasi pada suasana basa. Karakterisasi menggunakan XRD, FTIR, dan SEM-EDX mengkonfirmasi terbentuknya struktur hidrotalsit, dimana pada LDH MgAlFe, penambahan besi membentuk fase amorf Fe₂O₃ di permukaan yang meningkatkan heterogenitas material. Kajian isoterm adsorpsi menunjukkan LDH MgAl mengikuti model Langmuir (*monolayer*), sedangkan LDH MgAlFe sesuai dengan model Freundlich (*multilayer*). Analisis kinetika orde dua semu mengindikasikan proses dikendalikan oleh interaksi kemisorpsi seperti pertukaran anion. Data energi aktivasi (E_a) memberikan informasi tambahan, yaitu LDH MgAl memiliki E_a 8,69 kJ.mol⁻¹ karena permukaannya homogen sehingga Cr(VI) mudah terjerap, sementara LDH MgAlFe memiliki E_a 15,70 kJ.mol⁻¹ akibat adanya fase amorf Fe₂O₃ menghambat mekanisme pertukaran ion Cr(VI) pada fase *interlayer* LDH.

Keberadaan Cr(VI) yang terjerap pada fase amorf Fe₂O₃ memiliki afinitas lemah menjadi kunci keunggulan LDH MgAlFe dalam regenerasi. Pada proses desorpsi menggunakan NaOH 1 M, LDH MgAlFe melepaskan 79,32% ion Cr(VI) yang terjerap, hasil ini lebih tinggi dibandingkan LDH MgAl yang hanya 74,47%. Hal ini membuktikan bahwa meskipun secara rata-rata membutuhkan energi aktivasi awal yang lebih tinggi, material termodifikasi besi justru lebih mudah diregenerasi karena sebagian Cr(VI) terjerap pada situs Fe₂O₃. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa modifikasi LDH MgAl dengan besi berhasil menciptakan adsorben baru yang lebih efektif.

Kata kunci: adsorpsi, kromium heksavalen (Cr(VI)), desorpsi, *layered double hydroxide* (LDH)

SUMMARY

NAUFAL RAZAAN. A Study on the Mineralogical, Isotherm, Kinetic, and Thermodynamic Characterization of MgAl/MgAlFe LDH for Cr(VI) Adsorption-Desorption as an Application Model. Supervised by ZAENAL ABIDIN and IRMA HERAWATI SUPARTO.

Water pollution by heavy metal, particularly hexavalent chromium (Cr(VI)), poses a serious threat to the environment and human health due to its toxic nature. One effective method for remediating Cr(VI) from aquatic environments is the adsorption process using Layered double hydroxide (LDH) materials. LDH is selected as an adsorbent due to its high adsorption capacity, straightforward synthesis process, and excellent ion-exchange capability. To enhance the performance of LDH, this research modifies MgAl LDH by incorporating iron (Fe) to form MgAlFe LDH, aiming to examine the differences in mineralogical properties, adsorption-desorption mechanisms, and the desorption capabilities of both materials.

The synthesis of MgAl LDH and MgAlFe LDH materials was successfully carried out using the coprecipitation method under basic conditions. Characterization using XRD, FTIR, and SEM-EDX confirmed the formation of a hydrotalcite-like structure. In MgAlFe LDH, the addition of iron led to the formation of an amorphous Fe_2O_3 phase on the surface, which increased the material's heterogeneity. Adsorption isotherm studies revealed that MgAl LDH follows the Langmuir model (monolayer), whereas MgAlFe LDH conforms to the Freundlich model (multilayer). Pseudo-second-order kinetic analysis indicated that the process is controlled by chemisorptive interactions, such as anion exchange. Activation energy (E_a) data provided additional insight: MgAl LDH exhibited an E_a of 8.69 kJ mol^{-1} due to its homogeneous surface, facilitating easier Cr(VI) uptake. In contrast, MgAlFe LDH showed a higher E_a of $15.70 \text{ kJ mol}^{-1}$, attributed to the amorphous Fe_2O_3 phase hindering the ion exchange mechanism of Cr(VI) within the LDH interlayer.

The weak affinity of Cr(VI) adsorbed onto the amorphous Fe_2O_3 phase is key to the superior regenerability of MgAlFe LDH. During the desorption process using 1 M NaOH, MgAlFe LDH released 79.32% of the adsorbed Cr(VI) ions, a result higher than the 74.47% released by MgAl LDH. This demonstrates that although it requires a higher average initial activation energy, the iron-modified material is easier to regenerate because a portion of the Cr(VI) is adsorbed onto the more readily accessible Fe_2O_3 sites. Therefore, this research concludes that modifying MgAl LDH with iron successfully creates a new, effective adsorbent.

Keywords: Adsorption, Hexavalent Chromium (Cr(VI)), Desorption, Layered Double Hydroxide (LDH)



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

KARAKTERISASI MINERALOGI, ISOTERM, KINETIKA, DAN TERMODINAMIKA LDH MgAl/MgAlFe: STUDI ADSORPSI-DESORPSI Cr(VI) SEBAGAI MODEL APLIKASI

NAUFAL RAZAAN

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Kimia

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Karakterisasi Mineralogi, Isoterm, Kinetika, dan Termodinamika
LDH MgAl/MgAlFe: Studi Adsorpsi-Desorpsi Cr(VI) sebagai
Model Aplikasi
Nama : Naufal Razaan
NIM : G4501222032

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Zaenal Abidin, S.Si., M.Agr.



Pembimbing 2:
Dr. dr. Irma Herawati Suparto, M.S.

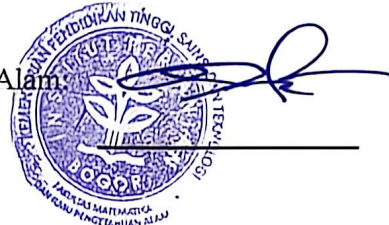


Diketahui oleh

Ketua Program Studi Kimia:
Prof. Dr. Irmanida Batubara, S.Si., M.Si.
NIP 197508072005012001



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam:
Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si.
NIP 197807232007011001



Tanggal Ujian: 12 Februari 2026

Tanggal Lulus:



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Desember 2022 sampai bulan Desember 2023 ini ialah sintesis material organik dan aplikasinya dalam remediasi air, dengan judul “Karakterisasi Mineralogi, Isoterm, Kinetika, dan Termodinamika LDH MgAl/MgAlFe: Studi Adsorpsi-Desorpsi Cr(VI) sebagai Model Aplikasi”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, yakni Dr. Zaenal Abidin, S.Si., M.Agr serta Dr. dr. Irma Herawati Suparto, M.S., yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar Prof. Dr. Ir. Ikeu Tanziha, M.S, dan penguji luar komisi pembimbing Prof. Dr. Dra. Eti Rohaeti, M.S. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Pramudio Pakerti, S.Si., M.Si., dan Novia Damayantie Abdullah, S.Hut., Haditsah Salsabila S.Si., M.Si., dan Bapak Rohmat Ismail, S.Si. (Laboran Laboratorium Kimia Anorganik Kimia IPB) yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Februari 2026

Naufal Razaan



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Layered double hydroxide</i> (LDH)	3
2.2 Isoterm Adsorpsi, Kinetika Adsorpsi, dan Termodinamika Adsorpsi	5
2.3 Ion kromium heksavalen (Cr(VI))	5
III METODE	7
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	7
3.2 Alat dan Bahan	7
3.3 Prosedur Kerja	7
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	10
4.1 Hasil Karakterisasi Mineralogi Material LDH	10
4.2 Hasil Isoterm, Kinetika, dan Termodinamika Adsorpsi LDH	15
4.3 Mekanisme Adsorpsi dan Desorpsi Cr(VI) pada LDH	20
V SIMPULAN DAN SARAN	22
5.1 Simpulan	22
5.2 Saran	22
DAFTAR PUSTAKA	23
LAMPIRAN	27
RIWAYAT HIDUP	44



DAFTAR TABEL

2.1	Kelebihan dan kekurangan metode sintesis LDH	3
4.1	Parameter kristal LDH	11
4.2	Parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich	17
4.3	Parameter kinetika adsorpsi orde satu semu dan dua semu LDH	18
4.4	Parameter termodinamika adsorpsi LDH	19
4.5	Hasil desorpsi LDH-Cr(VI)	21

DAFTAR GAMBAR

2.1	Struktur LDH	4
4.1	Difraktogram LDH	10
4.2	Morfologi hasil SEM LDH MgAl	12
4.3	Morfologi hasil SEM LDH MgAlFe	13
4.4	Spektrum FTIR LDH	14
4.5	Kurva TGA LDH MgAl	15
4.6	Kurva TGA LDH MgAlFe	15
4.7	Kurva Isoterm Adsorpsi LDH	16
4.8	Kurva kinetika adsorpsi orde satu semu (a) dan dua semu (b) LDH	18
4.9	Kurva termodinamika adsorpsi (a) dan energi aktivasi adsorpsi (b) LDH	19

DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram alir penelitian	27
2a	Bentuk ion kromat (Cr(VI)) dalam larutan	28
2b	Bentuk ion kromat (Cr(III)) dalam larutan	28
3	Struktur molekul DPC	29
4	Perhitungan parameter kristal LDH	30
5a	Spektrum EDX LDH MgAl	31
5b	Spektrum EDX LDH MgAlFe	31
6	Kurva standar Cr(VI)	32
7	Struktur LDH MgAlFe dengan amorf Fe ₂ O ₃	33
8	Perhitungan parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich	34
9	Perhitungan parameter kinetika adsorpsi orde satu semu dan dua semu LDH	36
10	Perhitungan parameter termodinamika adsorpsi LDH	40
11	Perhitungan hasil desorpsi LDH-Cr(VI)	43