

PERILAKU ADSORPSI URANIUM DAN TORIUM PADA BENTONIT PACITAN

ROZA INDRA LAKSMANA



**PROGAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Perilaku Adsorpsi Uranium dan Torium Pada Bentonit Pacitan” 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, 24 Maret 2025

Roza Indra Laksmana
G4501231002



RINGKASAN

ROZA INDRA LAKSMANA. Perilaku Adsorpsi Uranium dan Torium Pada Bentonit Pacitan. Dibimbing oleh MOHAMMAD KHOTIB, ZAINAL MAS'UD, DEA dan JUNE MELLAWATI, M.Si

Dunia saat ini menghadapi permintaan energi listrik yang terus meningkat, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia, di mana Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) menawarkan solusi energi yang stabil untuk mendukung pertumbuhan ekonomi dan kesehatan masyarakat. Namun, PLTN memiliki efek samping berupa limbah radioaktif yang harus dikelola dengan hati-hati agar tidak membahayakan manusia dan lingkungan. Pengelolaan limbah radioaktif, yang meliputi limbah padat, cair, dan gas, memerlukan teknologi canggih dan investasi untuk mengurangi volume serta paparan radiasi. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengolah limbah ini, termasuk kondisioning, insenerasi, evaporasi, penukar ion, serta adsorpsi. Di antara metode tersebut, adsorpsi menggunakan adsorben seperti bentonit menjadi salah satu yang paling populer dan efisien karena memiliki kapasitas tinggi, biaya rendah, mudah diregenerasi, dan tidak menghasilkan endapan, menjadikannya pilihan utama dalam pengelolaan limbah uranium dan torium yang berasal dari bahan bakar nuklir

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memprediksi dan memahami perilaku adsorpsi uranium dan torium pada bentonit Pacitan, serta menjelaskan mekanisme adsorpsi tersebut untuk mengeksplorasi pengaruh pH larutan, waktu kontak, serta adanya ligan seperti NaCl, Na₂SO₄, dan Na₂HPO₄ terhadap efisiensi adsorpsi. Selain itu, perlakuan asam pada bentonit Pacitan juga diuji untuk melihat pengaruhnya terhadap kapasitas adsorpsi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi analisis spektrofotometri UV-Vis untuk mengukur konsentrasi uranium dan torium dalam larutan, serta teknik karakterisasi seperti XRD dan SEM untuk mempelajari struktur permukaan bentonit sebelum dan sesudah proses adsorpsi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi bentonit terhadap torium (Th) tetap tinggi, dengan adsorpsi hampir mencapai 100% di seluruh rentang pH (2 hingga 8). Di sisi lain, adsorpsi uranium (U) menunjukkan peningkatan hingga pH 4, namun menurun setelahnya. Pada pH rendah (sekitar 2), Uranium lebih banyak ada dalam bentuk UO₂²⁺, yang memiliki afinitas kuat terhadap permukaan bentonit yang bermuatan negatif. Aktivasi asam pada bentonit meningkatkan muatan negatif permukaan, memperbesar kapasitas adsorpsi uranium pada pH rendah, namun menurunkan kapasitas adsorpsi pada pH tinggi. Pengaruh ligan seperti NaCl, Na₂SO₄, dan Na₂HPO₄ terlihat jelas, dimana Na₂HPO₄ cenderung membentuk kompleks dengan Th⁴⁺, yang mengurangi adsorpsi torium. Bentonit teraktivasi asam menunjukkan performa yang lebih baik pada adsorpsi uranium pada pH rendah dibandingkan dengan bentonit alam. Penelitian ini memberikan pemahaman lebih mendalam tentang mekanisme adsorpsi logam berat, khususnya uranium dan torium, yang dapat diterapkan dalam pengelolaan limbah radioaktif.

Kata kunci: Adsorpsi, aktivasi asam, bentonit, uranium dan torium



SUMMARY

ROZA INDRA LAKSMANA. Uranium and Thorium Adsorption Behavior on Pacitan Bentonite. Supervised by MOHAMMAD KHOTIB of 1st SUPERVISOR 1st, ZAINAL MAS'UD, DEA of 2nd SUPERVISOR, and JUNE MELLAWATI, M.Si of 3rd SUPERVISOR.

The world is currently facing an increasing demand for electrical energy, especially in developing countries such as Indonesia, where Nuclear Power Plants (NPPs) offer a stable energy solution to support economic growth and public health. However, NPPs have side effects in the form of radioactive waste that must be managed carefully so as not to endanger humans and the environment. Management of radioactive waste, which includes solid, liquid, and gas waste, requires advanced technology and investment to reduce the volume and radiation exposure. Various methods have been developed to treat this waste, including conditioning, incineration, evaporation, ion exchange, and adsorption. Among these methods, adsorption using adsorbents such as bentonite is one of the most popular and efficient because it has high capacity, low cost, easy to regenerate, and does not produce sediment, making it the main choice in the management of uranium and thorium waste from nuclear fuels.

The main objectives of this study were to predict and understand the adsorption behavior of uranium and thorium on Pacitan bentonite, and to explain the adsorption mechanism to explore the effects of solution pH, contact time, and the presence of ligands such as NaCl, Na₂SO₄, and Na₂HPO₄ on adsorption efficiency. In addition, acid treatment on Pacitan bentonite was also tested to see its effect on adsorption capacity. The methods used in this study include UV-Vis spectrophotometry analysis to measure the concentration of uranium and thorium in solution, as well as characterization techniques such as XRD and SEM to study the surface structure of bentonite before and after the adsorption process.

The results showed that the adsorption capacity of bentonite for thorium (Th) remained high, with adsorption reaching almost 100% across the entire pH range (2 to 8). On the other hand, uranium (U) adsorption showed an increase up to pH 4, but decreased thereafter. At low pH (around 2), Uranium is mostly present in the form of UO₂²⁺, which has a strong affinity for the negatively charged bentonite surface. Acid activation of bentonite increases the negative surface charge, increasing the uranium adsorption capacity at low pH, but decreasing the adsorption capacity at high pH. The influence of ligands such as NaCl, Na₂SO₄, and Na₂HPO₄ is clearly visible, where Na₂HPO₄ tends to form a complex with Th⁴⁺, which reduces thorium adsorption. Acid-activated bentonite showed better performance in uranium adsorption at low pH compared to natural bentonite. This study provides a deeper understanding of the adsorption mechanism of heavy metals, especially uranium and thorium, which can be applied in radioactive waste management.

Keywords: Adsorption, acid activation, bentonite, uranium and thorium



@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.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
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.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

PERILAKU ADSORPSI URANIUM DAN TORIUM PADA BENTONIT PACITAN

ROZA INDRA LAKSMANA

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

PROGAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025

- 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

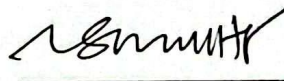
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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 : Perilaku Adsorpsi Uranium dan Torium
Pada Bentonit Pacitan
Nama Lengkap : Roza Indra Laksmana
NIM : G4501231002

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Mohammad Khotib, M.Si



Pembimbing 2:
Dr. Zainal Alim Mas'ud, DEA



Pembimbing 3:
Prof. Dr. June Mellawati, S.Si



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Irmanida Batubara, MSI
NIP. 197508072005012001



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



Tanggal Ujian: 21 Maret 2025

Tanggal Lulus:



@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.

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 bulan Mei-September 2024 ini ialah dengan judul “Perilaku Adsorpsi Uranium dan Torium Pada Bentonit Pacitan”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Mohammad Khotib, M.Si, Dr. Zainal Alim Mas'ud, DEA, Prof. Dr. June Mellwati, M.Si yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Serta penulis mengucapkan terima kasih kepada penguji Dr. Deden Saprudin, M.Si yang telah memberikan masukan untuk perbaikan tesis ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik pascasarjana, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Dr. Syaiful Bakhri sebagai kepala Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN) – Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah memberi izin penelitian, teman teman yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada 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, 21 Maret 2025

Roza Indra Laksmana



DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II METODE	4
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	4
2.2 Alat dan Bahan	4
2.3 Prosedur Kerja Penelitian	4
III HASIL DAN PEMBAHASAN	7
3.1 Karakterisasi Adsorben Bentonit Sebelum Adsorpsi	7
3.2 Penentuan Perilaku Adsorpsi Bentonit Alam Pacitan	12
3.3 Penentuan Pengaruh Ligan Pada Perilaku Adsorpsi U dan Th oleh Bentonit Alam	15
3.4 Pengaruh Perlakuan Asam Terhadap Perilaku Adsorpsi U dan Th	20
3.5 Perilaku Penjerapan U dan Th Berdasarkan Variasi Temperatur	23
IV SIMPULAN DAN SARAN	27
4.1 Simpulan	27
4.2 Saran	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN	31
RIWAYAT HIDUP	42



DAFTAR GAMBAR

3.1	Bentonit Pacitan tanpa aktivasi asam	7
3.2	Bentonit teraktivasi asam	7
3.3	Grafik analisis FTIR	10
3.4	Grafik analisis XRD	11
3.5	Penjerapan U dan Th oleh bentonit dengan variasi pH	12
3.6	Spesies Th pada tingkat pH yang berbeda (Eropa and Lingkungan 2014)	13
3.7	Mekanisme interaksi antara spesies uranium dan permukaan bentonit pada tingkat pH yang berbeda (H. Liu, Fu, and Mao 2022)	13
3.8	Pengaruh waktu kontak terhadap penjerapan U dan Th bentonit alam	14
3.9	Perilaku penjerapan Th oleh bentonit alam berdasarkan variasi pH	15
3.10	Spesi adsorpsi Th dengan variasi pH	16
3.11	Perilaku penjerapan U oleh bentonit alam berdasarkan variasi pH	17
3.12	Spesi adsorpsi U dengan variasi pH	18
3.13	Perilaku penjerapan U oleh bentonite alam terhadap waktu kontak	18
3.14	Pengaruh waktu kontak terhadap perilaku penjerapan bentonit alam terhadap Th	19
3.15	Perilaku penjerapan U oleh bentonit teraktivasi asam berdasarkan pengaruh pH	20
3.16	Perilaku penjerapan bentonit teraktivasi asam berdasarkan pengaruh pH	21
3.17	Perilaku penjerapan U oleh bentonit teraktivasi asam berdasarkan pengaruh waktu kontak	22
3.18	Pengaruh waktu kontak terhadap perilaku penjerapan Th dengan bentonit teraktivasi asam	22
3.19	Perilaku penjerapan U oleh bentonit alam berdasarkan variasi temperatur	24
3.20	Perilaku penjerapan Th oleh bentonit alam berdasarkan variasi temperatur	24
3.21	Perilaku penjerapan U oleh bentonit aktivasi asam berdasarkan variasi temperatur	25
3.22	Perilaku penjerapan Th dengan bentonit aktivasi asam terhadap variasi suhu	26

DAFTAR TABEL

3.1	Luas permukaan bentonit alam dan bentonit teraktivasi asam	8
3.2	Analisis XRF bentonit alam dan aktivasi asam (berat %)	9

DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram alir penelitian	32
2	BET N ₂ adsorpsi-desorpsi isoterm dari bentonite alam	33
3	BET N ₂ adsorpsi-desorpsi isoterm dari bentonite aktivasi asam	34
4	Tabel data analisis unsur dengan XRF bentonit alam	35
5	Tabel data analisis unsur dengan XRF bentonit alam	36
6	Data Adsorpsi torium oleh bentonit alam berdasarkan variasi pH	37
7	Data Adsorpsi torium oleh bentonit aktivasi asam berdasarkan variasi pH	37

8	Data Adsorpsi uranium oleh bentonit alam berdasarkan variasi pH	37
9	Data Adsorpsi uranium oleh bentonit aktivasi asam berdasarkan variasi pH	37
10	Data Adsorpsi Th oleh bentonit alam berdasarkan variasi temperatur	38
11	Data Adsorpsi Th oleh bentonit aktivasi asam berdasarkan variasi temperatur	38
12	Data Adsorpsi U oleh bentonit alam berdasarkan variasi temperatur	38
13	Data Adsorpsi U oleh bentonit alam berdasarkan variasi temperatur	38
14	Data Adsorpsi Th oleh bentonit alam berdasarkan variasi waktu	39
15	Data Adsorpsi Th oleh bentonit aktivasi asam berdasarkan variasi waktu	39
16	Data Adsorpsi U oleh bentonit alam berdasarkan variasi waktu	40
17	Data Adsorpsi U oleh bentonit aktivasi asam berdasarkan variasi waktu	40
18	Data spesi uranium dalam ligan	41
19	Data spesi torium dalam ligan	41

