

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT MAGMCM-41 DARI SILIKA SEKAM PADI UNTUK PENJERAPAN ION Pb(II)

NITA TRISNAWATI



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



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Komposit magMCM-41 dari Silika Sekam Padi untuk Penjerapan Ion Pb(II)” 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, Juli 2026

Nita Trisnawati
G4501231021



RINGKASAN

NITA TRISNAWATI. Sintesis dan Karakterisasi Komposit magMCM-41 dari Silika Sekam Padi untuk Penjerapan Ion Pb(II). Dibimbing oleh ETI ROHAETI dan DEDEN SAPRUDIN.

Pencemaran timbal (Pb) dalam lingkungan perairan menjadi permasalahan serius karena bersifat toksik dan dapat menyebabkan gangguan saraf, kerusakan ginjal, serta hambatan perkembangan kognitif. Berbagai aktivitas industri dan pertambangan menyebabkan konsentrasi Pb di perairan sering melampaui ambang aman. Adsorpsi menjadi metode yang banyak dipilih untuk penanganan limbah logam berat karena sederhana, efektif, dan ekonomis. Namun, keberhasilan proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh karakteristik adsorben, terutama luas permukaan, struktur pori, dan gugus aktif permukaannya. Oleh karena itu, pengembangan adsorben berbasis bahan alam yang murah, berkelanjutan, dan memiliki kapasitas adsorpsi tinggi menjadi penting untuk dilakukan.

Penelitian ini bertujuan mensintesis dan mengkarakterisasi komposit magMCM-41 berbasis silika sekam padi dan magnetit, serta mengevaluasi kinerjanya dalam adsorpsi Pb(II). Silika diperoleh dari abu sekam padi melalui proses ekstraksi alkali dan presipitasi, sedangkan magnetit disintesis dengan metode kopresipitasi. Komposit magMCM-41 kemudian dibuat menggunakan metode sol-gel dengan penambahan *cetyltrimethylammonium bromide* sebagai agen pengarah struktur. Kondisi adsorpsi dioptimalkan menggunakan metodologi respons permukaan dengan variasi pH, waktu kontak, dan bobot adsorben. Mekanisme adsorpsi dikaji menggunakan model isoterm dan analisis termodinamika.

Hasil karakterisasi menunjukkan terbentuknya komposit magMCM-41 yang ditandai oleh keberadaan gugus Si-O-Si dan Fe-O. Struktur magnetit tetap terjaga dalam komposit dengan ukuran kristalit yang menurun setelah proses pembentukan material. Material yang dihasilkan memiliki luas permukaan sebesar 476,744 m²/g dengan diameter pori rata-rata 3,83 nm yang termasuk dalam kategori mesopori. Peningkatan luas permukaan yang signifikan dibandingkan dengan silika awal menunjukkan keberhasilan pembentukan struktur mesopori pada material.

Optimasi adsorpsi menunjukkan bahwa pH menjadi faktor paling berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi, sedangkan peningkatan bobot adsorben menurunkan kapasitas adsorpsi per satuan massa. Kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 107,36 mg/g diperoleh pada pH 4,86 dengan bobot adsorben 0,053 g. Data isoterm paling sesuai dengan model Dubinin-Radushkevich yang menunjukkan mekanisme pengisian pori pada permukaan heterogen. Proses adsorpsi bersifat tidak spontan dan eksotermik serta didominasi oleh mekanisme fisisorpsi melalui interaksi elektrostatis dan gaya van der Waals. Temuan ini menunjukkan bahwa magMCM-41 berbasis silika sekam padi berpotensi sebagai adsorben mesopori magnetik yang efektif, berkelanjutan, dan ramah lingkungan untuk remediasi Pb(II) dalam perairan.

Kata kunci: adsorpsi, magMCM-41, mesopori, silika sekam padi, Pb(II)

SUMMARY

NITA TRISNAWATI. Synthesis and Characterization of magMCM-41 Composites from Rice Husk Silica for the Adsorption of Pb(II) Ions. Supervised by ETI ROHAETI and DEDEN SAPRUDIN.

Lead (Pb) contamination in aquatic environments poses serious risks to human health and ecosystem sustainability due to its toxic and persistent nature. Chronic exposure to Pb may cause neurological disorders, kidney damage, and impaired cognitive development. Industrial and mining activities frequently increase Pb concentrations in water beyond safe limits. Among various treatment methods, adsorption is widely recognized as an effective, simple, and economical approach for heavy metal removal. However, adsorption performance strongly depends on the physicochemical properties of the adsorbent, particularly surface area, pore structure, and active surface groups. Therefore, the development of sustainable and low-cost adsorbents with high adsorption capacity remains an important research focus.

This study aimed to synthesize and characterize magMCM-41 composites derived from rice husk silica and magnetite nanoparticles and to evaluate their performance for Pb(II) adsorption. Silica was extracted from rice husk ash through alkaline extraction and precipitation, while magnetite nanoparticles were synthesized by co-precipitation. The magMCM-41 composite was prepared using a modified sol-gel method with cetyltrimethylammonium bromide as a structure-directing agent. Adsorption conditions were optimized using Response Surface Methodology by varying pH, contact time, and adsorbent dosage. Adsorption behavior was further investigated through isotherm and thermodynamic analyses.

Characterization results confirmed the successful formation of magMCM-41 through the presence of Si-O-Si and Fe-O functional groups. The characteristic magnetite structure was preserved within the composite, while crystallite size decreased after composite formation. The synthesized material exhibited a surface area of 476.744 m²/g and an average pore diameter of 3.83 nm, indicating a mesopore structure. The significant increase in surface area relative to the initial silica indicated successful mesoporous framework formation.

Adsorption optimization identified pH as the most influential factor, whereas increasing adsorbent dosage reduced adsorption capacity per unit mass. The maximum adsorption capacity reached 107,36 mg/g at pH 4.86 using 0.053 g of adsorbent. Equilibrium data were best described by the Dubinin-Radushkevich isotherm model, indicating a pore-filling mechanism on a heterogeneous surface. Thermodynamic analysis showed that the adsorption process was non-spontaneous and exothermic, while the adsorption energy indicated that physisorption dominated, driven by electrostatic interactions and van der Waals forces. These findings demonstrate that rice husk-derived magMCM-41 is a sustainable and effective magnetic mesoporous adsorbent with strong potential for Pb(II) remediation in aquatic systems.

Keywords: adsorption, magMCM-41, mesoporous, Pb(II), rice husk silica



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.

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT MAGMCM-41 DARI SILIKA SEKAM PADI UNTUK PENJERAPAN ION Pb(II)

NITA TRISNAWATI

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

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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Dr. Rudi Heryanto, S.Si., M.Si



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.

IPB University

Judul Tesis : Sintesis dan Karakterisasi Komposit magMCM-41 dari Silika Sekam Padi untuk Penjerapan Ion Pb(II)
Nama : Nita Trisnawati
NIM : G4501231021

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Dra. Eti Rohaeti, MS



Pembimbing 2:
Dr. Deden Saprudin, M.Si



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
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: 11 Juni 2026

Tanggal Lulus:



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 Januari 2025 sampai bulan Januari 2026 ini ialah adsorben mesopori berbasis biomassa, dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Komposit magMCM-41 dari Silika Sekam Padi untuk Penjerapan Ion Pb(II)”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Dra. Eti Rohaeti, MS., dan Dr. Deden Saprudin, M.Si., yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan banyak memberi saran serta dukungan selama proses penelitian dan penyusunan tesis ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Prof. Dr. Endang Warsiki, S.TP., M.Si., selaku moderator seminar, Dr. Rudi Heryanto, S.Si., M.Si., selaku penguji luar komisi pembimbing, dan Dr. Henny Purwaningsih, M.Si., selaku wakil prodi atas kritik, saran, dan masukan yang membangun demi penyempurnaan tesis ini. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Ibu Nunung Nuryanti dan Bapak Kosasih selaku PLP di Laboratorium Kimia Analitik yang telah banyak membantu selama proses penelitian di laboratorium.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada teman-teman Pascasarjana Kimia IPB, khususnya teman-teman satu divisi di Laboratorium Kimia Analitik serta teman-teman seperantauan dari Riau, atas kebersamaan, bantuan, dukungan, semangat, dan cerita yang telah diberikan selama proses perkuliahan, organisasi, penelitian, hingga penyusunan tesis ini. Ungkapan terima kasih dan cinta yang tulus penulis persembahkan kepada Papa, Mama, abang, kakak, para ipar, serta keluarga besar atas segala doa, kasih sayang, perhatian, dukungan dan pengorbanan yang tiada henti diberikan kepada penulis selama perjalanan studi hingga penyusunan tesis ini.

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

Bogor, Juli 2026

Nita Trisnawati



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Silika Sekam Padi	4
2.2 Magnetit (Fe_3O_4)	5
2.3 MCM-41	6
2.4 Adsorpsi Pb(II)	8
2.5 Isoterm Adsorpsi	9
III METODE	11
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	11
3.2 Alat dan Bahan	11
3.3 Prosedur Kerja	11
3.4 Analisis data	15
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Karakteristik Partikel Hasil Sintesis	17
4.2 Analisis Performa, Pemodelan RSM-FCCCD, dan Kondisi Optimum Adsorpsi Pb(II) oleh magMCM-41	24
4.3 Model Isoterm Adsorpsi Pb(II)	28
4.4 Analisis Termodinamika Adsorpsi	31
4.5 Analisis Kinetika Adsorpsi	32
V SIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Simpulan	34
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	40
RIWAYAT HIDUP	50



DAFTAR TABEL

1	Karakteristik magnetit	5
2	Kinerja adsorpsi MCM-41 dan turunannya terhadap Pb(II)	7
3	Performa berbagai adsorben untuk adsorpsi Pb(II)	8
4	Variabel perlakuan pada optimasi adsorpsi Pb(II) menggunakan RSM-FCCCD	13
5	Rancangan percobaan proses adsorpsi menggunakan metode RSM-FCCCD	14
6	Perbandingan pita serapan FTIR antara silika, Fe ₃ O ₄ , dan magMCM-41	18
7	Parameter tekstural silika dan magMCM-41 berdasarkan analisis BET dan BJH	19
8	Parameter kristalografi adsorben berdasarkan analisis XRD	22
9	Perbandingan ukuran partikel berdasarkan hasil PSA	22
10	Kondisi optimum dan prediksi respons adsorpsi Pb(II) oleh magMCM-41 berdasarkan fungsi kepuasan (<i>desirability</i>)	27
11	Parameter model isoterm adsorpsi Pb(II)	29
12	Perbandingan kapasitas adsorpsi magMCM-41 dengan adsorben lain untuk Pb(II)	30
13	Nilai parameter termodinamika adsorpsi Pb ²⁺ pada magMCM-41	31
14	Parameter kinetika orde dua semu adsorpsi Pb ²⁺ pada magMCM-41	33

DAFTAR GAMBAR

1	Mekanisme pembentukan MCM-41	6
2	Skema pori MCM-41 (a) dan komposit magMCM-41 yang mengandung Fe ₃ O ₄ (b) (Kamari dan Ghorbani 2021)	7
3	Spektrum FTIR dari silika, Fe ₃ O ₄ , dan magMCM-41	17
4	Isoterm adsorpsi-desorpsi N ₂ dari silika (a) dan magMCM-41 (b)	18
5	Pola difraksi XRD silika, Fe ₃ O ₄ , dan magMCM-41 serta standar JCPDS 19-0629	20
6	Skema pembentukan struktur mesopori magMCM-41 melalui mekanisme templating CTAB	23
7	Plot kontur untuk kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan Pb(II)	27
8	Model isoterm Langmuir (a), Freundlich (b), Temkin (c), dan Dubinin-Radushkevich (d)	28
9	Plot van't Hoff hubungan ln K terhadap 1/T pada adsorpsi Pb(II)	31

DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram alir penelitian	41
2	Perhitungan massa Pb(NO ₃) ₂ untuk menghasilkan Pb(II) 1000 ppm dalam 1000 mL larutan	42

3	Perhitungan pembuatan larutan Pb(II) 100 ppm dari 1000 ppm dalam 100 mL larutan	42
4	Perhitungan pembuatan larutan Pb(II) 10 ppm dari 100 ppm dalam 250 mL larutan	42
5	Perhitungan pembuatan deret standar Pb(II) dari 10 ppm dalam 25 mL larutan	42
6	Perhitungan pembuatan larutan Pb(II) 150 ppm dari 1000 ppm dalam 1000 mL larutan	42
7	Hasil analisis PSA	43
8	Kurva Standar Pb(II)	44
9	Optimasi penjerapan ion Pb(II) oleh adsorben magMCM-41	45
10	Analisis model dan ANOVA terhadap respons kapasitas adsorpsi	45
11	Analisis model dan ANOVA terhadap respons efisiensi adsorpsi	46
12	Isoterm Langmuir, Freundlich, Temkin, Dubinin Radushkevich adsorpsi Pb(II)	48