

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI *ION IMPRINTED POLYMERS*
(IIPs) DENGAN METODE FOTOPOLIMERISASI
SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM Zn^{2+}**



**RAJAB MIKO
NIM/TM. 22036089/2022**

**PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI *ION IMPRINTED POLYMERS*
(IIPs) DENGAN METODE FOTOPOLIMERISASI
SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM Zn^{2+}**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains



**Oleh:
RAJAB MIKO
NIM/TM. 22036089/2022**

**PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Sintesis dan Karakterisasi *Ion Imprinted Polymers* (IIPs) dengan Metode Fotopolimerisasi sebagai Adsorben Ion Logam Zn^{2+}

Nama : Rajab Miko

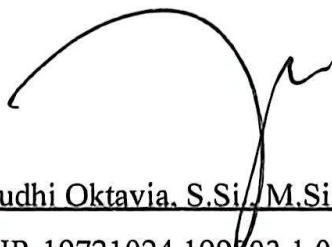
TM/NIM : 2022/22036089

Program Studi : Kimia

Departemen : Kimia

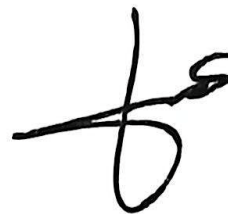
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Mengetahui:
Kepala Departemen Kimia



Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 19721024 199803 1 001

Padang, 13 Mei 2026
Disetujui Oleh :
Dosen Pembimbing



Alizar, S.Pd., M.Sc., Ph.D
NIP. 19700902 199801 1 002

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Rajab Miko
TM/NIM : 2022/22036089
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

SINTESIS DAN KARAKTERISASI *ION IMPRINTED POLYMERS* (IIPs) DENGAN METODE FOTOPOLIMERISASI SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM Zn^{2+}

Dinyatakan Lulus setelah dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi
Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 13 Mei 2026

Tim Penguji:

No	Jabatan	Nama	Tanda tangan
1	Ketua	Alizar, S.Pd., M.Sc., Ph.D	1. 
2	Anggota	Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D	2. 
3	Anggota	Dra. Syamsi Aini, M.Si., Ph.D	3. 

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini

Nama : Rajab Miko
TM/NIM : 2022/22036089
Tempat / Tanggal Lahir : Sp. LBR Merangin/ 23 April 2002
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Sintesis dan Karakterisasi *Ion Imprinted Polymers* (IIPs) dengan Metode Fotopolimerisasi sebagai Adsorben Ion Logam Zn^{2+}

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Padang, 13 Mei 2026

Yang Menyalakan



Rajab Miko
NIM. 22036089

Sintesis dan Karakterisasi *Ion Imprinted Polymers* (IIPs) dengan Metode Fotopolimerisasi sebagai Adsorben Ion Logam Zn^{2+}

Rajab Miko

ABSTRAK

Ion Imprinted Polymers (IIPs) merupakan material polimer dengan rongga spesifik yang mampu mengenali dan mengikat ion target tertentu secara selektif. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis IIPs berbasis ion Zn(II) menggunakan metode fotopolimerisasi sebagai adsorben selektif logam berat Zn(II) . Sintesis dilakukan menggunakan $\text{Zn(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai ion *template*, *methacrylic acid* (MAA) sebagai monomer fungsional, *ethylene glycol dimethacrylate* (EGDMA) sebagai *crosslinker*, dan DMPP sebagai inisiator. Karakterisasi IIPs-Zn dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. Hasil FTIR menunjukkan adanya pergeseran pita gugus karbonil (C=O) dari MAA pada IIPs-Zn dibandingkan dengan NIP, yang mengindikasikan terjadinya interaksi antara ion Zn(II) dengan gugus fungsional polimer, sementara pita C-O tetap terdeteksi yang menunjukkan kestabilan struktur polimer. Kondisi optimum adsorpsi diperoleh pada perbandingan MAA : EGDMA sebesar 10 mmol : 15 mmol, pH 6, waktu ekstraksi 50 menit, waktu kontak 40 menit, dan konsentrasi Zn(II) 50 mg/L, dengan kapasitas maksimum sebesar 3,95 mg/g sesuai model isoterm Langmuir ($R^2 = 0,9006$). Adsorpsi menunjukkan selektivitas tinggi terhadap Zn(II) dibandingkan ion kompetitor, membuktikan efektivitas IIPs-Zn sebagai adsorben selektif logam berat.

Kata Kunci: *Ion Imprinted Polymers* (IIPs), Ion Zn (II) , Fotopolimerisasi, Adsorpsi, Monomer Fungsional, *Crosslinker*

Synthesis and Characterization of Ion Imprinted Polymers (IIPs) Using Photopolymerization Method as Adsorbents for Zn²⁺ Metal Ions

Rajab Miko

ABSTRACT

Ion Imprinted Polymers (IIPs) are polymeric materials with specific cavities capable of selectively recognizing and binding target ions. This study aims to synthesize Zn(II)-based IIPs using a photopolymerization method as a selective adsorbent for Zn(II) heavy metal ions. The synthesis was carried out using Zn(NO₃)₂·6H₂O as the *template* ion, methacrylic acid (MAA) as the functional monomer, ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) as the crosslinker, and DMPP as the initiator. The characterization of IIPs-Zn was performed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. The FTIR results showed a shift in the carbonyl (C=O) absorption band of MAA in IIPs-Zn compared to NIP, indicating the interaction between Zn(II) ions and the functional groups of the polymer, while the C-O band remained present, confirming the structural stability of the polymer. The optimum adsorption conditions were obtained at an MAA : EGDMA ratio of 10 mmol : 15 mmol, pH 6, extraction time of 50 minutes, contact time of 40 minutes, and Zn(II) concentration of 50 mg/L, with a maximum adsorption capacity of 3.95 mg/g following the Langmuir isotherm model ($R^2 = 0.9006$). The adsorption exhibited high selectivity toward Zn(II) compared to competing ions, demonstrating the effectiveness of IIPs-Zn as a selective adsorbent for heavy metals.

Keywords: Ion Imprinted Polymers (IIPs), Zn(II) ion, Photopolymerization, Adsorption, Functional Monomer, Crosslinker

KATA PENGANTAR

Penulis menyampaikan rasa syukur atas karunia dan kekuatan dari Allah SWT yang telah memberikan kemampuan untuk menyelesaikan hasil penelitian yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi *Ion Imprinted Polymers* (IIPs) dengan Metode Fotopolimerisasi sebagai Adsorben Ion Logam Zn^{2+} ”**. Shalawat beserta salam untuk nabi tauladan kita, Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan tauladan dalam setiap aktivitas yang kita lalui.

Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains di Program Studi Kimia, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Dalam penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, arahan, petunjuk dan masukan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Alizar, S.Pd., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing sekaligus penasehat akademik yang telah memberikan bimbingan, masukan dan arahan hingga selesainya skripsi ini.
2. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si., Ph.D dan Ibu Dra. Syamsi Aini, M.Si., Ph.D selaku dosen pembahas.
3. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen dan Ketua Prodi Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
4. Kepada ibunda penulis, Nurmi, yang senantiasa berjuang memberikan yang terbaik dalam setiap langkah kehidupan penulis. Terima kasih atas segala cinta, doa, dan dukungan yang tiada henti dalam setiap perjalanan sehingga penulis dapat sampai pada titik ini. Terima kasih telah menjadi ibu yang hebat dan luar biasa.

5. Abang dan kakak tercinta, terima kasih telah menjadi bagian penting dalam perjalanan hidup penulis. Kehadiran kalian memberikan semangat dalam setiap langkah yang ditempuh. Tidak hanya melalui doa dan perhatian yang selalu menguatkan, tetapi juga melalui kebersamaan, dukungan, serta rasa peduli yang tulus, yang senantiasa menjadi sumber kekuatan bagi penulis untuk terus melangkah dan bertahan hingga saat ini.
6. Sahabat seperjuangan Aldi, Ananta, dan Dosi yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan selama masa perkuliahan. Terima kasih telah menjadi teman bertumbuh dalam berbagai kondisi, serta atas kebersamaan, dukungan, dan kesediaan untuk selalu menemani serta berbagi cerita hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Untuk diri sendiri yang telah berusaha melewati setiap hambatan dalam proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih karena telah mampu bertahan di tengah lelah, keraguan, dan air mata, serta tetap melangkah meskipun tidak selalu mudah. Terima kasih karena terus percaya bahwa setiap langkah kecil yang dijalani akan mengarah pada pencapaian yang berarti. Pada akhirnya, perjalanan ini menjadi bukti bahwa usaha, ketekunan, dan keteguhan hati patut dihargai, dan diri sendiri layak untuk diapresiasi atas segala proses yang telah dilalui hingga sampai pada titik ini.

Penulis berharap bahwa skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang yang terkait, serta dapat menambah wawasan dan pemahaman bagi para pembaca. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga sangat mengharapkan adanya kritik, masukan, dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak demi

penyempurnaan karya ini di masa yang akan datang. Atas segala bentuk kritik, masukan, dan saran yang telah diberikan, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Padang, Mei 2026

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	
ABSTRACT	
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Logam Zink (Zn).....	7
B. <i>Ion Imprinted Polymers</i> (IIPs).....	8
C. Adsorpsi.....	12
D. Fotopolimerisasi	16
E. Karakterisasi	18
BAB III METODE PENELITIAN	22
A. Waktu dan Tempat	22
B. Variabel Penelitian	22
C. Objek Penelitian	22
D. Alat dan Bahan	23
E. Prosedur Kerja	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
A. Karakterisasi FTIR <i>Ion Imprinted Polymers-Zn</i>	29
B. Sintesis <i>Ion Imprinted Polymers-Zn</i>	33
C. Variasi Waktu Ekstraksi Zn^{2+} dari IIPs	36

D. Variasi Waktu Kontak IIPs	39
E. Variasi pH.....	40
F. Variasi Konsentrasi.....	41
G. Isotermal Adsorpsi	43
H. Uji Reusabiliti	44
I. Uji Selektivitas.....	46
BAB V PENUTUP	49
A. Kesimpulan	49
B. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Skematik Sintesis IIPs	10
Gambar 2.	Proses Adsorpsi	13
Gambar 3.	Mekanisme Kerja FTIR.....	18
Gambar 4.	Skema Kerja AAS.....	21
Gambar 5.	Perkiraan Reaksi Sintesis IIPs-Zn	26
Gambar 6.	Hasil Analisa FTIR	29
Gambar 7.	Grafik Pengaruh Jumlah MAA terhadap Kapasitas Adsorpsi IIPs-Zn	33
Gambar 8.	Grafik Pengaruh Jumlah EGDMA terhadap Kapasitas Adsorpsi IIPs- Zn.....	35
Gambar 9.	Grafik Pengaruh Waktu Ekstraksi terhadap Konsentrasi Larutan Ion Logam Zn	37
Gambar 10.	Grafik Pengaruh Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi IIPs- Zn.....	39
Gambar 11.	Grafik Pengaruh pH terhadap Kapasitas Adsorpsi IIPs-Zn.....	41
Gambar 12.	Grafik Pengaruh Konsentrasi terhadap Kapasitas Adsorpsi IIP-Zn	42
Gambar 13.	(a) Grafik Isoterm Langmuir (b) Grafik Isoterm Freunlich.....	44
Gambar 14.	Grafik Uji Reusabiliti IIPs-Zn	45
Gambar 15.	Grafik Selektivitas Adsorpsi IIPs-Zn.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat Fisika dan Kimia Logam Zink	7
Tabel 2. Struktur Komponen Ion Imprinted Polymers (IIPs).....	11
Tabel 3. Perbandingan MAA dan EGDMA	24
Tabel 4. Interpretasi Spektra FTIR.....	30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain Penelitian	61
Lampiran 2. Prosedur Kerja	62
Lampiran 3. Perhitungan.....	66
Lampiran 4. Data Spektra FTIR.....	73
Lampiran 5. Data Hasil Pengukuran Penyerapan Ion Logam Zn	77
Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian.....	81

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan industri yang pesat dalam beberapa dekade terakhir telah meningkatkan pencemaran lingkungan oleh limbah logam berat. Logam berat memiliki sifat beracun dan sulit terurai secara alami (El-Sharkawy *et al.*, 2025). Salah satu logam berat yang sering ditemukan pada limbah industri adalah seng (Zn), yang umumnya berasal dari kegiatan galvanisasi, pelapisan logam, dan pembuatan baterai (Wang *et al.*, 2023; Dobre *et al.*, 2024).

Meskipun Zn banyak digunakan dalam berbagai proses industri sebagai bahan pelapis antikorosi, katalis, dan bahan baku paduan logam, kelebihan Zn dalam limbah dapat menimbulkan permasalahan (D. Castro *et al.*, 2021). Zn^{2+} dapat bereaksi dengan senyawa lain dalam limbah industri, seperti sulfida dan bahan kimia pengompleks, sehingga membentuk endapan atau senyawa yang bersifat toksik dan korosif, yang dapat mengganggu proses pengolahan limbah serta meningkatkan risiko pencemaran lingkungan (Tan *et al.*, 2023). Dengan demikian, pengendalian ion Zn^{2+} di lingkungan merupakan aspek yang sangat penting guna menjaga keberlanjutan ekosistem serta melindungi kesehatan makhluk hidup.

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengurangi kadar ion logam berat, termasuk ion Zn^{2+} dari limbah cair, seperti presipitasi kimia, pertukaran ion, dan elektrokoagulasi (K. Castro & Abejón, 2024). Namun, metode-metode konvensional ini sering terkendala oleh efisiensi rendah, biaya operasional yang tinggi, serta keterbatasan dalam menangani konsentrasi logam yang rendah (Meena Kapahi, 2019; Dobre *et al.*, 2024). Metode adsorpsi dipandang sebagai

pilihan yang unggul karena prosedurnya mudah diterapkan, memiliki fleksibilitas tinggi, bekerja secara efisien, dan membutuhkan biaya operasional yang minimal (Maliki *et al.*, 2023).

Salah satu material adsorben inovatif yang berkembang pesat adalah *Ion Imprinted Polymers* (IIPs) (Lazar *et al.*, 2023). IIPs merupakan polimer yang disintesis dengan memasukkan ion target selama proses pembentukan, sehingga terbentuk situs pengikatan yang spesifik terhadap ion tersebut (Lazar *et al.*, 2023). Setelah ion dikeluarkan, polimer meninggalkan rongga selektif yang mampu mengenali dan mengadsorpsi ion logam tertentu secara efisien (Lazar *et al.*, 2023). Metode ini menawarkan keunggulan dalam hal selektivitas, stabilitas termal dan kimia, serta regenerasi material, menjadikannya solusi unggul dalam pemisahan logam berat dari lingkungan (Wirawan *et al.*, 2019).

Ion Imprinted Polymers (IIPs) merupakan material polimer fungsional yang dirancang secara spesifik untuk mengenali dan mengikat ion logam tertentu melalui situs pengikatan yang tersusun secara selektif (Santos & Maria Monica Sianita, 2024). Umumnya, sintesis IIPs dilakukan menggunakan metode polimerisasi termal, yaitu dengan memanaskan campuran monomer, agen pembentuk pori, dan kompleks logam-templat pada suhu tinggi untuk membentuk jaringan polimer yang kaku (Kusumkar *et al.*, 2021). Namun, metode ini tetap memiliki beberapa keterbatasan, seperti memerlukan suhu reaksi yang tinggi, waktu polimerisasi yang relatif lama, serta menghasilkan struktur pori yang cenderung tidak seragam, yang dapat mempengaruhi efisiensi dan selektivitas adsorpsi (Dumur, 2021). Selain itu, metode termal juga kurang cocok untuk sintesis material berbasis senyawa organik atau biomolekul yang sensitif terhadap panas (Zepeda-Navarro *et al.*, 2024).

Sebagai solusi atas keterbatasan tersebut, metode fotopolimerisasi telah dikembangkan sebagai alternatif yang lebih unggul. Teknik ini memanfaatkan sinar ultraviolet (UV) sebagai inisiator reaksi polimerisasi, yang memungkinkan proses berlangsung pada suhu ruang dan dalam waktu yang lebih singkat (Nofianti *et al.*, 2023). Keunggulan lainnya adalah kemampuan untuk mengontrol struktur morfologi, ukuran pori, serta distribusi situs pengikatan secara lebih presisi, sehingga menghasilkan material dengan karakteristik yang lebih seragam dan kinerja adsorpsi yang lebih stabil (Zepeda-Navarro *et al.*, 2024). Selain itu, fotopolimerisasi juga memberikan fleksibilitas dalam desain material yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Dobre *et al.*, 2024). Dayanti, (2025) melaporkan bahwa metode fotopolimerisasi pada sintesis *ion imprinted polymers* (IIPs) untuk ion Cr(III) dapat berlangsung dengan waktu reaksi yang relatif singkat dan efisien. Namun demikian, penerapan metode fotopolimerisasi dalam sintesis IIPs yang secara spesifik ditujukan untuk ion Zn^{2+} masih relatif terbatas dan belum banyak dilaporkan dalam literatur.

Studi yang dilakukan oleh Wirawan *et al.*, (2019) melalui metode polimerisasi presipitasi berhasil mensintesis *Zn(II)-ion imprinted polymer* (Zn-IIP) dengan *Zinc Sulfate* ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) sebagai *template*, *methacrylic acid* (MAA) sebagai monomer fungsional, dan *ethylene glycol dimethacrylate* (EGDMA) sebagai pengikat silang. sehingga menghasilkan material yang memiliki selektivitas tinggi terhadap ion Zn(II) serta kestabilan struktur polimer yang baik. Sementara itu, Kuras *et al.*, (2017) berhasil mensintesis *Zn(II)-ion imprinted polymer* (Zn-IIP) melalui polimerisasi termal dengan *1-vinylimidazole* sebagai monomer fungsional, *ethylene glycol dimethacrylate* (EDMA) dan *2-hydroxyethyl methacrylate* (HEMA)

sebagai agen pengikat silang, serta AIBN sebagai inisiator, yang menghasilkan material dengan selektivitas tinggi terhadap ion Zn^{2+} dibandingkan Cu^{2+} , Ni^{2+} , dan Co^{2+} serta memiliki stabilitas kimia dan mekanik yang baik. Meskipun polimerisasi presipitasi dan termal dapat digunakan dalam sintesis polimer bercetak, kedua metode tersebut masih memiliki keterbatasan, terutama karena waktu reaksi yang lama dan efisiensi yang rendah (Shen *et al.*, 2023). Oleh karena itu, fotopolimerisasi dipilih sebagai alternatif yang lebih menjanjikan, karena mampu berlangsung lebih cepat pada suhu rendah serta menghasilkan polimer dengan morfologi lebih seragam (Dayanti, 2025). Dengan keunggulan tersebut, penelitian ini diajukan dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi *Ion Imprinted Polymers* (IIPs) dengan Metode Fotopolimerisasi sebagai Adsorben Ion Logam Zn^{2+} ”**, yang diharapkan dapat menghasilkan material dengan efisiensi adsorpsi tinggi, selektivitas yang baik, serta stabilitas yang memadai, sekaligus mendukung proses sintesis yang lebih cepat dan efisien dibandingkan metode konvensional.

B. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pencemaran oleh ion Zn^{2+} berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan.
2. Metode konvensional seperti presipitasi kimia, elektrokoagulasi, dan pertukaran ion belum mampu secara efektif dan efisien menghilangkan Zn^{2+} pada konsentrasi rendah dari limbah cair.
3. Sintesis *Ion imprinted polymers-Zn* sebelumnya telah dilakukan menggunakan metode polimerisasi termal dan polimerisasi presipitasi. Namun, metode tersebut kurang efektif karena memerlukan suhu tinggi yang bisa merusak *template* dan boros pelarut.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sintesis *Ion Imprinted Polymers-Zn* menggunakan metode fotopolimerisasi.
2. Karakterisasi *Ion Imprinted Polymers-Zn* menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) dan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi jumlah monomer fungsional dan *crosslinker* terhadap kapasitas adsorpsi IIPs-Zn?
2. Bagaimana pengaruh pH dan konsentrasi larutan terhadap penyerapan ion Zn^{2+} ?
3. Bagaimana kinerja reusabiliti IIPs-Zn sebagai adsorben ion Zn^{2+} setelah digunakan dalam beberapa siklus pemakaian?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi jumlah monomer fungsional dan *crosslinker* terhadap kapasitas adsorpsi IIPs-Zn.
2. Mengetahui pengaruh pH dan konsentrasi larutan terhadap kemampuan penyerapan ion Zn^{2+} .
3. Mengetahui kemampuan penggunaan ulang (reusabiliti) IIPs-Zn sebagai adsorben ion Zn^{2+} .

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan nilai guna untuk mengembangkan IIPs-Zn sebagai adsorben selektif, menyediakan data sintesis,

karakterisasi, serta kapasitas adsorpsi, dan berpotensi diaplikasikan dalam pengolahan limbah industri yang mengandung ion Zn^{2+} .

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi jumlah monomer fungsional *methacrylic acid* (MAA) dan *crosslinker ethylene glycol dimethacrylate* (EGDMA) berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi IIPs-Zn. Kondisi optimum diperoleh pada penggunaan MAA sebesar 10 mmol dan EGDMA sebesar 15 mmol, yang menghasilkan struktur polimer dengan jumlah situs aktif dan kestabilan yang optimal untuk proses adsorpsi.
2. Kondisi pH dan konsentrasi larutan awal berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi ion Zn^{2+} oleh IIPs-Zn. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH optimum terjadi pada pH 6 dan konsentrasi awal optimum sebesar 50 mg/L dengan kapasitas adsorpsi sebesar 3,95 mg/g.
3. IIPs-Zn menunjukkan kemampuan penggunaan ulang (reusabiliti) yang baik hingga 3 siklus, dengan kinerja adsorpsi yang masih relatif stabil, sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai adsorben yang efisien dan ekonomis dalam aplikasi pengolahan limbah logam berat.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Disarankan untuk menambahkan ligan pada proses sintesis *Ion Imprinted Polymers* (IIPs) guna meningkatkan kestabilan kompleks antara ion Zn(II) dan monomer fungsional, sehingga selektivitas adsorben terhadap ion target dapat ditingkatkan.

2. Disarankan untuk menggunakan karakterisasi SEM dalam mengamati morfologi IIPs-Zn, sehingga informasi mengenai struktur permukaan, ukuran pori, dan bentuk partikel dapat diperoleh secara lebih jelas dan mendalam.
3. Material IIPs-Zn yang menunjukkan sifat selektivitas yang baik terhadap ion Zn^{2+} disarankan untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai material sensor ion logam Zn^{2+} , mengingat kemampuan pengenalannya yang spesifik terhadap ion target.
4. Pada penelitian selanjutnya, ukuran partikel IIPs-Zn disarankan dibuat lebih kecil untuk meningkatkan luas permukaan adsorben sehingga jumlah situs aktif yang tersedia semakin besar dan kapasitas adsorpsi terhadap ion Zn^{2+} dapat meningkat.
5. Proses ekstraksi ion *template* menggunakan asam nitrat disarankan dilakukan dengan variasi konsentrasi yang lebih beragam guna memperoleh kondisi optimum dalam pelepasan ion Zn^{2+} dari matriks polimer.
6. Ketebalan lapisan IIPs-Zn disarankan dibuat lebih tipis dan homogen agar proses difusi ion Zn^{2+} menuju situs aktif pada polimer dapat berlangsung lebih optimal sehingga efisiensi adsorpsi meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, E. M., Modwi, A., Al-mijalli, S. H., Mohammed, A. E., Idriss, H., Omar, A. S., Afifi, M., Al-farga, A., & Goh, K. W. (2022). *Nanomaterials on Bacterial Growth*.
- Abdullah, Balouch, A., Talpur, F. N., Kumar, A., Shah, M. T., Mahar, A. M., & Amina. (2019). Synthesis of ultrasonic-assisted lead ion imprinted polymer as a selective sorbent for the removal of Pb ²⁺ in a real water sample. *Microchemical Journal*, 146(February), 1160–1168. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.02.037>
- Abdus-Salam, N., & Adekola, S. K. (2018). Adsorption studies of zinc(II) on magnetite, baobab (*Adansonia digitata*) and magnetite–baobab composite. *Applied Water Science*, 8(8), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0867-7>
- Abubakar, L., Yusof, N. A., Abdullah, A. H., Mohammad, F., Wahid, M. H., Ismail, S., Abdul Rahim, Z., Al-Lohedan, H. A., & Soleiman, A. A. (2023). Molecularly Imprinted Polymer-Based Nanoporous Carbon Nanocomposite for Effective Adsorption of Hg(II) Ions from Aqueous Suspensions. *Separations*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/separations10080454>
- Agibayeva, L., Melnikov, Y., Kubiyeva, D., & Kondaurov, R. (2025). Impact of Crosslinking Agent on Sorption Properties of Molecularly Imprinted Polymers in Relation to Silver. *Polymers*, 17(15). <https://doi.org/10.3390/polym17152055>
- Aisha, N. (2021). *Identifikasi Polimer Tekstil*. <https://www.researchgate.net/publication/354642481>
- Akhtar, M. S., Ali, S., & Zaman, W. (2024). Innovative Adsorbents for Pollutant Removal: Exploring the Latest Research and Applications. In *Molecules* (Vol. 29, Issue 18). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/molecules29184317>
- Al-Najar, J. A., Al-Humairi, S. T., Lutfee, T., Balakrishnan, D., Veza, I., Soudagar, M. E. M., & Fattah, I. M. R. (2023). Cost-Effective Natural Adsorbents for Remediation of Oil-Contaminated Water. *Water (Switzerland)*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/w15061186>
- Alauhdin, M., Tirza Eden, W., Alighiri, D., & Negeri Semarang, U. (2015). *Aplikasi Spektroskopi Inframerah untuk Analisis Tanaman dan Obat Herbal*. <https://doi.org/10.15294/.v0i0.15>
- Alizar, U., Djaha, N. A., Mawardi, Suryani, O., Dewata, I., Safitri, E., Hidayat, N., Hanifah, S. A., & Hassan, R. A. (2025). Synthesis and Characterization of Molecularly Imprinted Polymers (MIPs) as Adsorbents for Methylene Blue

- Dye. *Rasayan Journal of Chemistry*, 18(1), 352–359. <https://doi.org/10.31788/RJC.2025.1819126>
- Amin, N., & Erfan, M. A. (2025). Environmental Fate and Toxicity of Zinc Oxide Nanoparticles in Aquatic Ecosystems: A Comprehensive Review. *Journal of Natural Science Review*, 3(1), 104–125. <https://doi.org/10.62810/jnsr.v3i1.103>
- Anugrahwati, M., Indah Fajarwati, F., & Awalín Safitri, R. (2021). Adsorpsi Pb(II) dari Air dengan Karbon Aktif dari Kulit Salak Pondoh: Kinetika dan Isoterm Adsorpsi. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 1–11. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art1>
- Ashfaq, A., Clochard, M. C., Coqueret, X., Dispenza, C., Driscoll, M. S., Ulański, P., & Al-Sheikhly, M. (2020). Polymerization reactions and modifications of polymers by ionizing radiation. In *Polymers* (Vol. 12, Issue 12, pp. 1–67). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym12122877>
- Bakalár, T., Kyšl'a, H., Kyšl'a, K., & Zuzana Hajduová. (2022). *Characterization of Cu (II) and Zn (II) Sorption onto Zeolite. 12*, 908.
- Bednarczyk, P., Irska, I., Gziut, K., & Ossowicz-Rupniewska, P. (2021). Novel multifunctional epoxy (Meth)acrylate resins and coatings preparation via cationic and free-radical photopolymerization. *Polymers*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/polym13111718>
- Berthomieu, C., & Hienerwadel, R. (2009). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. In *Photosynthesis Research* (Vol. 101, Issues 2–3, pp. 157–170). <https://doi.org/10.1007/s11120-009-9439-x>
- Caixeta, A. L., Silva, A. C. N. da, Silva, S. K. S. da, Dias, M. de C., Cholang, C. M., Volkmer, T. M., Missio, A. L., Oliveira, A. D. de, Ferrer, M. M., Anwar, Y., & Khan, S. (2025). Review: Sustainable Biosorbent and Biopolymeric Materials for Heavy Metal Adsorption—Advances, Challenges, and Perspectives. In *Materials* (Vol. 18, Issue 20). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ma18204752>
- Cajamarca, F. A., & Tarley, C. R. T. (2022). Influence of Synthesis Parameters and Polymerization Methods on the Selective and Adsorptive Performance of Bio-Inspired Ion Imprinted Polymers. In *Separations* (Vol. 9, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/separations9100266>
- Castro, D., Rosas-Laverde, N. M., Aldás, M. B., Almeida-Naranjo, C. E., Guerrero, V. H., & Pruna, A. I. (2021). Chemical Modification of Agro-Industrial Waste-Based Bioadsorbents for Enhanced Removal of Zn(II) Ions from Aqueous Solutions. *Materials*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/ma14092134>
- Castro, K., & Abejón, R. (2024). Removal of Heavy Metals from Wastewaters and Other Aqueous Streams by Pressure-Driven Membrane Technologies: An

- Outlook on Reverse Osmosis, Nanofiltration, Ultrafiltration and Microfiltration Potential from a Bibliometric Analysis. In *Membranes* (Vol. 14, Issue 8). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/membranes14080180>
- Chai, J., Zhang, K., Xue, Y., Liu, W., Chen, T., Lu, Y., & Zhao, G. (2020). Review of mems based fourier transform spectrometers. In *Micromachines* (Vol. 11, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/mi11020214>
- Çıtlakoğlu, M., & Yolcu, Z. (2023). Synthesis and characterization of zinc(II) methacrylate monomer complex and adsorption properties of zinc(II) ion-imprinted polymer. *Inorganica Chimica Acta*, 555(May). <https://doi.org/10.1016/j.ica.2023.121605>
- Darmayanti, L., Rabi'ah, D. R., & Adawiyah, A. (2025). *Innovative Use of Palm Oil Fly Ash-Based Zeolite for Zinc (II) Removal from Wastewater*. 23, 1353–1358. <https://doi.org/10.14710/jil.23.5.1353-1358>
- Dayanti, S. N. (2025). Sintesis Ion Imprinted Polymers (IIPsd) engan Metode Fotopolimerisasi sebagai Bahan Penyerap Ion Logam Cr(III). *Skripsi*. Universitas Negeri Padang.
- Djunaidi, M. C., Putri, V. R., Maharani, N. D., Lusiana, R. A., Siahaan, P., & Sunarno, S. (2024). Precipitation Polymerization-Based Molecularly Imprinted Polymers: A Novel Approach for Transdermal Curcumin Delivery. *Polymers*, 16(24). <https://doi.org/10.3390/polym16243456>
- Dobre, T., Isopencu, G. O., Bdaiwi Ahmed, S., & Deleanu, I. M. (2024). Heavy Metal Pollution and Solutions for Its Control: General Aspects with a Focus on Cobalt Removal and Recovery from Aqueous Systems. In *ChemEngineering* (Vol. 8, Issue 6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/chemengineering8060118>
- Dumur, F. (2021). Recent advances on perylene-based photoinitiators of polymerization. In *European Polymer Journal* (Vol. 159). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110734>
- El-Sharkawy, M., Alotaibi, M. O., Li, J., Du, D., & Mahmoud, E. (2025). Heavy Metal Pollution in Coastal Environments: Ecological Implications and Management Strategies: A Review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 17, Issue 2). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/su17020701>
- El Ouardi, Y., Giove, A., Laatikainen, M., Branger, C., & Laatikainen, K. (2021). Benefit of ion imprinting technique in solid-phase extraction of heavy metals, special focus on the last decade. In *Journal of Environmental Chemical Engineering* (Vol. 9, Issue 6). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106548>

- Elewa, A. M., Amer, A. A., Attallah, M. F., Gad, H. A., Al-Ahmed, Z. A. M., & Ahmed, I. A. (2023). Chemically Activated Carbon Based on Biomass for Adsorption of Fe(III) and Mn(II) Ions from Aqueous Solution. *Materials*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/ma16031251>
- Fakhri, A. P. N., Manik, P., & Amiruddin, W. (2024). Analisis Perbandingan Penggunaan Nanopartikel Zinc Oxide (ZnO) Sebagai Campuran Coating Plat Baja SS 400 Terhadap Laju Korosi, Kekuatan Adhesi, dan Ketahanan Coating. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12.
- Febriani, A., Umara, S. A., Nursa'adah, E., Firdaus, M. L., & History, A. (2022). Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Malachite Green Dan Violet Dye Menggunakan Metal Organic Frameworks (Fe-BDC). *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 10(2). <http://ojs.undikma.ac.id/index.php/hydrogen/>
- Fouassier, J. P., & Lalevée, J. (2014). Photochemical production of interpenetrating polymer networks; Simultaneous initiation of radical and cationic polymerization reactions. In *Polymers* (Vol. 6, Issue 10, pp. 2588–2610). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym6102588>
- Gumede, S., & Musonge, P. (2022). Characterisation of Mg-Al Hydrotalcite and Surfactant-Modified Bentonite Nano Clays for the Treatment of Acid Mine Drainage. *Sustainability (Switzerland)*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/su14159501>
- Helaluddin, A. B. M., Khalid, R. S., Alaama, M., & Abbas, S. A. (2016). Main analytical techniques used for elemental analysis in various matrices. In *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* (Vol. 15, Issue 2, pp. 427–434). University of Benin. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v15i2.29>
- Jayanti, R. C. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Material Ionic Imprinted Polymer-Silika Metil Ammonium Kuaterner (IIP-SMAK) sebagai Adsorben Ion Cr(VI). *Skripsi*.
- Jefriadi, Jelita, R., & Nailisa, N. (2025). *Karbon Aktif dari Limbah Sawi Putih untuk Adsorpsi Ion Mangan (Mn) Activated Carbon from White Mustard Waste for Adsorption of Manganese (Mn) Ions*. 12(1), 70.
- Julita, E., Ulianas, A., Ahmad, M. S., Isa, I. M., Yulkifli, Ling, T. L., Yolanda, Y., Nurlely, & Rezayi, M. (2021). Molecularly imprinted polymeric microspheres for electrochemical sensing of cholesterol. *Rasayan Journal of Chemistry*, 14(3), 1462–1468. <https://doi.org/10.31788/RJC.2021.1436251>
- Kamaruzaman, S., Nasir, N. M., Faudzi, S. M. M., Yahaya, N., Hanapi, N. S. M., & Ibrahim, W. N. W. (2021). Solid-phase extraction of active compounds from natural products by molecularly imprinted polymers: Synthesis and extraction parameters. *Polymers*, 13(21), 1–32. <https://doi.org/10.3390/polym13213780>

- Kartika, H. D., Jorena, J., Monado, F., & Royani, I. (2022). Analisis Jumlah Rongga Tercetak pada Ion Imprinted Polymer (IIPs)-Fe(III) Yang disintesis menggunakan Metode Cooling-heating. *Jurnal Penelitian Sains*, 24(1), 18. <https://doi.org/10.56064/jps.v24i1.680>
- Kartika, S. E., Hariyanto, P. S., Madjid, A. D. R., Siboro, S. A. P., & Sujarwadi, R. (2025). Synthesis and Characterization of Nickel(II) Imprinted Polymers as a Selective Adsorbent for Nickel(II) Ions. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 28(6), 307–315. <https://doi.org/10.14710/jksa.28.6.307-315>
- Kaushal, A. (2023). Regeneration study of adsorbents loaded with zinc metal ions from contaminated water. *International Journal of Hydrology*, 7(5), 189–192. <https://doi.org/10.15406/ijh.2023.07.00356>
- Krüger, D., Matshwele, J. T. P., Mukhtar, M. D., & Baecker, D. (2024). Insights into the Versatility of Using Atomic Absorption Spectrometry in Antibacterial Research. *Molecules*, 29(13). <https://doi.org/10.3390/molecules2913120>
- Kuras, M. J., Perz, K., & Kołodziejski, W. L. (2017). Synthesis, characterization and application of a novel zinc(II) ion-imprinted polymer. *Polymer Bulletin*, 74(12), 5029–5048. <https://doi.org/10.1007/s00289-017-1987-1>
- Kusumaningrum, D. I. P., Hatining, D., Sudarni, A., & Wahyuningsih, S. (2022). Optimasi Pengaruh Waktu Kontak dan Dosis Adsorben Limbah Daun Kayu Putih (*Melaleuca cajuputi*) dengan Metode Isoterm Adsorpsi Langmuir. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 11(2), 72–79. <https://talenta.usu.ac.id/jtk>
- Kusumkar, V. V., Galamboš, M., Viglašová, E., Daňo, M., & Šmelková, J. (2021). Ion-imprinted polymers: Synthesis, characterization, and adsorption of radionuclides. *Materials*, 14(5), 1–29. <https://doi.org/10.3390/ma14051083>
- Lamaoui, A., Mani, V., Durmus, C., Salama, K. N., & Amine, A. (2024). Molecularly imprinted polymers: A closer look at the template removal and analyte binding. In *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 243). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2023.115774>
- Lazar, M. M., Ghiorghita, C. A., Dragan, E. S., Humelnicu, D., & Dinu, M. V. (2023). Ion-Imprinted Polymeric Materials for Selective Adsorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution. In *Molecules* (Vol. 28, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules28062798>
- Li, C., Kong, D., Yao, X., Ma, X., Wei, C., & Wang, H. (2022). Adsorption Characteristics and Molecular Simulation of Malachite Green onto Modified Distillers' Grains. *Water (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/w14020171>
- Lindenmayer, R., Lu, L., Eivazi, F., & Afrasiabi, Z. (2023). Atomic Spectroscopy-Based Analysis of Heavy Metals in Seaweed Species. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/app13084764>

- Long, X., Zhang, R., Rong, R., Wu, P., Chen, S., Ao, J., An, L., Fu, Y., & Xie, H. (2023). Adsorption Characteristics of Heavy Metals Pb^{2+} and Zn^{2+} by Magnetic Biochar Obtained from Modified AMD Sludge. *Toxics*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/toxics11070590>
- Mabaso, N. B., Nomngongo, P. N., & Nyaba, L. (2024). Recent Advances in Synthesising and Applying Magnetic Ion-Imprinted Polymers to Detect, Pre-Concentrate, and Remove Heavy Metals in Various Matrices. *Processes*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/pr12081601>
- Maliki, S., Wardana, S. K., Sulastriani, S., Alamsyah, M., Shafira, N., & Lestari, S. D. (2023). Pengurangan Kandungan Limbah Zn Menggunakan Metode Adsorpsi dengan Menggunakan Fly Ash. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 12(2), 263–273. <https://doi.org/10.29103/jtku.v12i2.13573>
- Maponya, T. C., Makgopa, K., Somo, T. R., & Modibane, K. D. (2022). Highlighting the Importance of Characterization Techniques Employed in Adsorption Using Metal–Organic Frameworks for Water Treatment. *Polymers*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/polym14173613>
- Maret, W., & Li, Y. (2009). Coordination dynamics of zinc in proteins. *Chemical Reviews*, 109(10), 4682–4707. <https://doi.org/10.1021/cr800556u>
- Maslova, M. V., Ivanenko, V. I., Yanicheva, N. Y., & Mudruk, N. V. (2020). Comparison of the sorption kinetics of lead(II) and zinc(II) on titanium phosphate ion-exchanger. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(2). <https://doi.org/10.3390/ijms21020447>
- Mauricio-Sánchez, R. A., Salazar, R., Luna-Bárcenas, J. G., & Mendoza-Galván, A. (2018). FTIR spectroscopy studies on the spontaneous neutralization of chitosan acetate films by moisture conditioning. *Vibrational Spectroscopy*, 94, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2017.10.005>
- Mayangsari, N. E., & Astuti, U. P. (2021). Model Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cu^{2+} Menggunakan Selulosa Daun Nanas Kinetic Model Adsorption of Heavy Metal Cu^{2+} Using Pineapple Leave Cellulose. *Jurnal Chemurgy*, 05(1), 15–21. <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK>
- Meador, D. S., Houck, S. S., & Spivak, D. A. (2025). Discovery and Development of One Monomer Molecularly Imprinted Polymers (OMNiMIPs). *Polymers*, 17(17). <https://doi.org/10.3390/polym17172359>
- Meena Kapahi, S. S. (2019). Bioremediation Options for Heavy Metal Pollution. *J H&P*.
- Mogashane, T. M., Mapazi, O., Motlatle, M. A., Mokoena, L., & Tshilongo, J. (2025). A Review of Recent Developments in Analytical Methods for Determination of Phosphorus from Environmental Samples. In *Molecules* (Vol. 30, Issue 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

<https://doi.org/10.3390/molecules30051001>

- Montesinos-Cruz, V., & Somerville, G. A. (2024). Shining a Light on Spectrophotometry in Bacteriology. *Antibiotics*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/antibiotics13121164>
- Msaadi, R., Yilmaz, G., Allushi, A., Hamadi, S., Ammar, S., Chehimi, M. M., & Yagci, Y. (2019). Highly selective copper ion imprinted clay/polymer nanocomposites prepared by visible light initiated radical photopolymerization. *Polymers*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/polym11020286>
- Musali, N. S., Abu Bakar, N., Abdul Rahim, N., Wan Mahamod, W. R., Hashim, N., Mohd Sharif, S. N., Che Soh, S. K., & Ulianas, A. (2024). Photopolymerization of Imprinted Polymer with Dummy Template for the Recognition of Hydroquinone in Aqueous Medium. *Indonesian Journal of Chemistry*, 24(5), 1279. <https://doi.org/10.22146/ijc.90096>
- Nofianti, N., Ulianas, A., & Kurniawati, D. (2023). Sintesis Polianilin (PANI) yang di Doping Besi (III) Oksida Menggunakan Metode Fotopolimerisasi. *Chemistry Journal of Universitas*, 12(3). <https://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia>
- Obulapuram, P. K., Arfin, T., Mohammad, F., Khiste, S. K., & Chavali, M. (2021). Studies towards the Removal of Reactive Orange 16 Dye. *Polymers*, 1, 1–16.
- Ovezova, M., Yılmaz, F., Göktürk, I., Güler, K. Ç., & Denizli, A. (2024). Molecularly imprinted polymers for pharmaceutical and biomedical analysis. In *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis Open* (Vol. 4). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2024.100038>
- Pasieczna-Patkowska, S., Cichy, M., & Flieger, J. (2025). Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in Characterization of Green Synthesized Nanoparticles. In *Molecules* (Vol. 30, Issue 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/molecules30030684>
- Pricop, M. A., Negrea, A., Ciopec, M., Pascu, I. B., Oprean, C., Lukinich-Gruia, A. T., Cristea, I. M., Ivan, A., Păunescu, V., & Tatu, C. A. (2025). Aristolochic Acid I Adsorption onto Activated Carbon: Kinetics, Equilibrium, and Thermodynamic Studies. *Processes*, 13(11), 1–15. <https://doi.org/10.3390/pr13113397>
- Puspita Sari, I., & Bachri Amran, M. (2021). Sintesis dan Karakterisasi SiO₂@APTES-IIP Sebagai Material Fungsional Penjerap Ion Kadmium(II). *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 4(1), 18–29. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol4.iss1.art3>
- Qi, W., Tian, Y., Lu, D., & Chen, B. (2022). Research Progress of Applying

- Infrared Spectroscopy Technology for Detection of Toxic and Harmful Substances in Food. In *Foods* (Vol. 11, Issue 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods11070930>
- Radhitya Anugrah, E. M. S. H. P. dan T. Y. (2020). Karakterisasi Bioetanol Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Metode Pemurnian Adsorpsi (Adsorpsi menggunakan Adsorben Berupa Zeolit). *Jurnal Industri Pertanian*.
- Rashati, D., Syafitri, E., Judy Handojo, K., Pondineka Ria, A., & Farmasi Jember, A. (2021). *Tingkat Pengetahuan Ibu Terhadap Penggunaan Zinc Pada Balita Diare Di Dusun Karang Pring Desa Sumber Jeruk Kabupaten Jember*.
- Ribas-Massonis, A., Cicujano, M., Duran, J., Besalú, E., & Poater, A. (2022). Free-Radical Photopolymerization for Curing Products for Refinish Coatings Market. In *Polymers* (Vol. 14, Issue 14). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym14142856>
- Robakowska, M., & Gierz, Ł. (2025). Effect of Nanosilica Fillers on Photopolymerisation Behaviour and Mechanical Performance of Dental Resin Composites. *Coatings*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/coatings15111316>
- Sangoremi, A. A. (2025). Adsorption Kinetic Models and Their Applications: A Critical Review. *International Journal of Research And Scientific Innovation (IJRSI)*. <https://doi.org/10.51244/IJRSI>
- Santos, C. P. L. D. S., & Maria Monica Sianita. (2024). Pengaruh Bufer Asetat Terhadap Kemampuan Adsorpsi Ion Timbal(II) Menggunakan Ion Imprinted Polymer (IIP) Termodifikasi Ligan EDTA. *Journal of Research and Education Chemistry*, 6(2), 197. [https://doi.org/10.25299/jrec.2024.vol6\(2\).19010](https://doi.org/10.25299/jrec.2024.vol6(2).19010)
- Seyedi, A., Najafi, M., Russell, G. T., Mohammadi, Y., Vivaldo-Lima, E., & Penlidis, A. (2020). Initiator feeding policies in semi-batch free radical polymerization: A Monte Carlo study. *Processes*, 8(10), 1–19. <https://doi.org/10.3390/pr8101291>
- Shankar. H & Prasad A.S. (2011). Zinc and immune function: the biological basis of altered resistance to infection. *Science*, 68.
- Shen, Y., Miao, P., Liu, S., Gao, J., Han, X., Zhao, Y., & Chen, T. (2023). Preparation and Application Progress of Imprinted Polymers. In *Polymers* (Vol. 15, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym15102344>
- Šimunović, L., Jurela, A., Sudarević, K., Bačić, I., Haramina, T., & Meštrović, S. (2024). Influence of Post-Processing on the Degree of Conversion and Mechanical Properties of 3D-Printed Polyurethane Aligners. *Polymers*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/polym16010017>
- Susmanto, P., Yandriani, Y., Dila, A. P., & Pratiwi, D. R. (2020). Pengolahan Zat Warna Direk Limbah Cair Industri Jumpitan Menggunakan Karbon Aktif

- Limbah Tempurung Kelapa pada Kolom Adsorpsi. *JRST (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, 4(2), 77. <https://doi.org/10.30595/jrst.v4i2.7309>
- Tan, H. W., Pang, Y. L., Lim, S., Chong, W. C., Lai, C. W., & Abdullah, A. Z. (2023). Exploring the Potential of Utilizing Aquatic Macrophytes for Enhanced Phytoremediation of Zinc in Artificial Wastewater: Characteristics and Parameter Studies. *Sustainability*, 15(20), 15170. <https://doi.org/10.3390/su152015170>
- Testa, V., Anfossi, L., Cavalera, S., Di Nardo, F., Serra, T., & Baggiani, C. (2024). The Amount of Cross-Linker Influences Affinity and Selectivity of NanoMIPs Prepared by Solid-Phase Polymerization Synthesis. *Polymers*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/polym16040532>
- Vievard, J., Alem, A., Pantet, A., Ahfir, N. D., Arellano-Sánchez, M. G., Devouge-Boyer, C., & Mignot, M. (2023). Bio-Based Adsorption as Ecofriendly Method for Wastewater Decontamination: A Review. In *Toxics* (Vol. 11, Issue 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/toxics11050404>
- Vigdorowitsch, M., Pchelintsev, A., Tsygankova, L., & Tanygina, E. (2021). Freundlich isotherm: An adsorption model complete framework. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(17), 1–7. <https://doi.org/10.3390/app11178078>
- Wahyuni, N., Silalahi, I. H., & Angelina, D. (2019). Isoterm Adsorpsi Fenol oleh Lempung Alam. In *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah* (Vol. 07, Issue 01).
- Wang, Q., Huang, X., & Zhang, Y. (2023). Heavy Metals and Their Ecological Risk Assessment in Surface Sediments of the Changjiang River Estuary and Contiguous East China Sea. *Sustainability (Switzerland)*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/su15054323>
- Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 4(2), 175. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v4i2.6119>
- Wirawan, T., Supriyanto, G., & Soegianto, A. (2019). Adsorption of Zinc(II) onto Zn(II)-Ionic Imprinted Polymer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 546(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/2/022036>
- Wu, Q., Dong, S., Wang, L., & Li, X. (2021). *Single and Competitive Adsorption Behaviors of Cu²⁺, Pb²⁺, and Zn²⁺ on the Biochar and Magnetic Biochar of Pomelo Peel in Aqueous Solution*. 13(c), 868.
- Wu, Z., Ji, Y., Zhang, K., Jing, L., & Zhao, T. (2024). On the Use of the Multi-Site Langmuir Model for Predicting Methane Adsorption on Shale. *Energies*, 17(19), 1–15. <https://doi.org/10.3390/en17194990>

- Ye, S., Zhang, W., Hu, X., He, H., Zhang, Y., Li, W., Hu, G., Li, Y., & Deng, X. (2023). Selective Adsorption Behavior and Mechanism for Cd(II) in Aqueous Solution with a Recoverable Magnetic-Surface Ion-Imprinted Polymer. *Polymers*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/polym15112416>
- Yeh, Y. C., Ebbing, T., Frick, K., Schmid-Staiger, U., Haasdonk, B., & Tovar, G. E. M. (2023). Improving Determination of Pigment Contents in Microalgae Suspension with Absorption Spectroscopy: Light Scattering Effect and Bouguer–Lambert–Beer Law. *Marine Drugs*, 21(12). <https://doi.org/10.3390/md21120619>
- Yustinah, Hudzaifah, Aprila, M., & Syamsudin. (2019). *Keseimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch*.
- Zahro, S. F., & Adityosulindro, S. (2023). Literature Review: Penggunaan Bahan Berbasis Limbah Sebagai Adsorben untuk Degradasi Zat Warna pada Air Limbah. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 22(3), 359–368. <https://doi.org/10.14710/jkli.22.3.359-368>
- Zaid Zabbar dan Muhamad Ryanto. (2019). Kajian Beton Polimer Menggunakan Bahancampuran Perekat Resin Terhadap Kuat Tekanbeton dengan Pengujian Kuat Tekan Beton. *Jurnal Techno-Socio Ekonomika*.
- Zepeda-Navarro, A., Segoviano-Garfias, J. J. N., & Bivián-Castro, E. Y. (2024). The Multi-Challenges of the Multi-Ion-Imprinted Polymer Synthesis. In *Polymers* (Vol. 16, Issue 19). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/polym16192804>
- Zhakina, A. K., Vassilets, Y. P., Arnt, O. V., & Zhakin, A. M. (2024). Synthesis and Study of Sorption Properties of Zinc-Imprinted Polymer. *Polymers*, 16(24). <https://doi.org/10.3390/polym16243545>
- Zhao, L., Hu, D., & Cheng, H. (2022). Preparation and characterization of Co(II) ion-imprinted composite membrane based on a novel functional monomer. *Microporous and Mesoporous Materials*, 334. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2022.111707>
- Zulkefli, N. N., Noor Azam, A. M. I., Masdar, M. S., & Isahak, W. N. R. W. (2023). Adsorption–Desorption Behavior of Hydrogen Sulfide Capture on a Modified Activated Carbon Surface. *Materials*, 16(1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/ma16010462>