

TESIS

**DESAIN FAKTORIAL DALAM OPTIMASI ADSORPSI
POLIMER TERCETAK ION Fe(III): STUDI KASUS
EKSTRAKSI POLIMER IIPs-Fe(III)**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains**



MUHAMMAD HIJRAH

08072682024001

**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**DESAIN FAKTORIAL DALAM OPTIMASI ADSORPSI
POLIMER TERCETAK ION Fe(III): STUDI KASUS
EKSTRAKSI POLIMER IIPs-Fe(III)**

LAPORAN TESIS

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Sains

Oleh:

MUHAMMAD HIJRAH

08072682024001

Palembang, Januari 2024

Pembimbing I



Dr. Idha Rovani, S.Si., M.Si
NIP. 197105151999032001

Pembimbing II



Dr. Fitri Suryani Arsyad, M.Si.
NIP. 197010191995122001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Hermansyah, S.Si, M.Si, Ph.D.
NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “Desain Faktorial dalam Optimasi Adsorpsi Polimer Tercetak Ion Fe(III): Studi Kasus Ekstraksi Polimer HPS-Fe(III)” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Fisika Universitas Sriwijaya pada tanggal 12 Januari 2024.

Palembang, 12 Januari 2024

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Tesis

Ketua Komisi :

Dr. Fiber Monado, M.Si
NIP. 197002231995121002

()

Sekretaris Komisi :

Dr. Siti Sailah, M.T
NIP. 197010201994122001

()

Pembimbing :

1. Dr. Idha Royani, S.Si., M.Si.
NIP. 197105151999032001

()

2. Dr. Fitri Suryani Arsyad, M.Si.
NIP. 197010191995122001

()

Penguji :

1. Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si.
NIP. 197211252000122001

()

2. Dr. Erry Koriyanti, M.T.
NIP. 196910261995122001

()

Mengetahui,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam



Prof. Hermansyah, S.Si, M.Si, Ph.D.
NIP. 197111191997021001

Ketua Program Studi
Magister Fisika



Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si.
NIP. 197211252000122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Hijrah

NIM : 08072682024001

Judul : Desain Faktorial dalam Optimasi Adsorpsi Polimer Tercetak Ion Fe(III):
Studi Kasus Ekstraksi Polimer IIPs-Fe(III)

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Januari 2024



Muhammad Hijrah
NIM. 08072682024001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Hijrah

NIM : 08072682024001

Judul : Desain Faktorial dalam Optimasi Adsorpsi Polimer Tercetak Ion Fe(III):
Studi Kasus Ekstraksi Polimer IIPs-Fe(III)

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*)

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Januari 2024



Muhammad Hijrah
NIM. 08072682024001

HALAMAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Sesungguhnya sholat ku, ibadah ku, hidup ku , dan mati ku hanya untuk Allah, Tuhan seluruh alam. Tidak ada sekutu bagi-Nya dan demikianlah yang diperintahkan kepada ku dan aku adalah orang yang berserah diri (muslim)”

Tesis ini ku persembahkan hanya untuk Allah SWT

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Allahumma Soli'ala Muhammad wa 'alaali Muhammad puji syukur kepada Allah SWT atas berbagai macam nikmat yang telah diberikan, nikmat yang paling besar adalah nikmat iman dan islam. Syukur alhamdulillah atas rahmat dan berkah-Nya penulis dapat penyelesaian Tesis yang berjudul “**Desain Faktorial Dalam Optimasi Adsorpsi Polimer Tercetak Ion Fe(III): Studi Kasus Ekstraksi Polimer IIPs-Fe(III)**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains bidang studi Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Dengan penuh syukur dan cinta penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada **Orang Tuaku, Abdul Kadir, Roaita, dan Kasmawarsita, Istri tercinta Fitrianti serta Anak ku Muhammad Alfatih MZ** atas segala kasih sayang, perhatian, dukungan, dan doanya. Penulisan Tesis ini dapat terealisasi tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Taufik Marwa, SE, M.Si**, selaku Rektor Universitas Sriwijaya
2. Bapak **Prof. Hermansyah, S.Si, M.Si, Ph.D**, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
3. Ibu **Dr. Menik Ariani, S.Si, M.Si**, selaku Ketua Program Studi Magister Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam atas ilmu, arahan, dan nasehat yang telah diberikan selama penulis belajar di Program Studi S2 Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
4. Ibu **Dr. Idha Royani, S.Si, M.Si**, selaku Pembimbing I yang telah bersedia memberikan ilmu, nasehat, waktu, pikiran, saran, dan tenaga sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan baik.
5. Ibu **Dr. Fitri Suryani Arsyad, M.Si**, selaku Pembimbing II yang telah bersedia memberikan ilmu, nasehat, waktu, pikiran, saran, dan tenaga sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan baik.
6. **Seluruh Dosen dan Tenaga Pendidik** di Program Studi Magister Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah mendidik, memberikan ilmu yang bermanfaat, dan memberikan nasehat selama menjalani perkuliahan. Bapak

dan ibu semua senantiasa penulis anggap sebagai dosen selamanya dan tidak ada istilah mantan dosen untuk Bapak dan Ibu tercinta.

7. Adik-adik ku (**Dedi Apriansyah, Mutiara Indah, Anggi Wibowo Tampubolon, M.Firman Saputra, Okta Ramadhona, dan Yuliana**) tersayang yang selalu memberikan semangat dan kebahagiaan ketika melihat tingkah lucu dan cita-cita mereka.
8. Terkhusus Teman-teman di Lab Material yang senantiasa menemani dan berjuang bersama dalam meraih cita-cita. Umumnya seluruh Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA UNSRI.

Penulis berharap semoga Tesis ini mendapatkan berkah dari Allah SWT dan bermanfaat bagi mahasiswa FMIPA Universitas Sriwijaya khususnya. Dan bagi seluruh saintist pada umumnya.

Wassalammu 'alaikum wr. wb

Palembang, Januari 2024



Muhammad Hijrah
NIM. 08072682024001

RINGKASAN

DESAIN FAKTORIAL DALAM OPTIMASI ADSORPSI POLIMER TERCETAK ION Fe(III): STUDI KASUS EKSTRAKSI POLIMER IIPs-Fe(III)
Karya tulis ilmiah berupa Tesis, Januari 2024

Muhammad Hijrah; Dibimbing oleh Dr. Idha Royani, M.Si. dan Dr. Fitri Suryani Arsyad, M.Si

Magister Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

xv + 84 halaman, 11 tabel, 15 gambar, 8 lampiran

Polimer cetakan (IIPs) merupakan salah satu adsorben logam berat yang memiliki potensi untuk dikembangkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan ekstraksi IIPs cetakan ion Fe(III) dengan menggunakan desain faktorial. Polimer IIPs-Fe(III) disintesis dengan metode *cooling-heating* dan diekstraksi dengan larutan HCl. Faktor-faktor yang divariabelkan adalah konsentrasi ekstraksi dan waktu ekstraksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil eksperimen yang dilakukan terhadap ekstraksi polimer IIPs-Fe(III) dengan menggunakan faktor konsentrasi HCl dan lama waktu ekstraksi menghasilkan nilai terbesar kapasitas adsorpsi yaitu 1,3245 mg/g pada hasil ekstraksi dengan konsentrasi HCl 6 M dan lama waktu ekstraksi 8 jam. Ukuran kristal terkecil yaitu 1,0698 nm dengan konsentrasi 6 M dan waktu ekstraksi 6 jam. Dari eksperimen yang telah dilakukan pada proses ekstraksi polimer IIPs-Fe(III) menghasilkan model matematika kapasitas adsorpsi $Y_1 = 1,65112 + 0,165875(A/6)$ dan ukuran kristal sebesar $Y_2 = 1,62998 - 0,392975(A/6)$. Pada model ini variabel waktu ekstraksi tidak muncul karena variabel tersebut tidak signifikan terhadap kapasitas adsorpsi dan ukuran kristal. Semakin besar konsentrasi HCl maka semakin besar kapasitas adsorpsi dan semakin kecil ukuran kristal IIPs-Fe(III)

Kata Kunci: *Ion Imprinted Polymers* (IIPs), Fe(III), Desain Faktorial, Optimasi, Adsorpsi, Pemodelan

Kepustakaan : 66 (2011-2023)

SUMMARY

FACTORIAL DESIGN IN THE OPTIMIZATION OF ADSORPTION OF ION IMPRINTED POLYMERS (IIPs) FOR Fe(III): A CASE STUDY OF THE EXTRACTION OF IIPs-Fe(III) POLYMERS

Science paper in the form of thesis, January 2024

Muhammad Hijrah; Supervised by Dr. Idha Royani, M.Si. and Dr. Fitri Suryani Arsyad, M.Si.

Master of Physics, Mathematics and Natural Sciences Faculty of Sriwijaya University

xv + 84 pages, 11 tables, 15 Pictures, 8 appendices

Printed polymers (IIPs) are one of the adsorbents for heavy metals that have the potential to be developed. This study aimed to optimize the extraction of IIPs printed Fe(III) ions using factorial design. IIPs-Fe(III) polymers were synthesized using the cooling-heating method and extracted with HCl solution. The factors that were varied were extraction concentration and extraction time. The results of the study showed that the experimental results of the extraction of IIPs-Fe(III) polymers using the factors of HCl concentration and extraction time produced the largest value of adsorption capacity of 1.3245 mg/g in the extraction results with a HCl concentration of 6 M and extraction time of 8 hours. The smallest crystal size was 1.0698 nm with a concentration of 6 M and extraction time of 6 hours. From the experiments that have been carried out in the extraction process of IIPs-Fe(III) polymers, it produces a mathematical model of adsorption capacity $Y_1 = 1.65112 + 0.165875(A/6)$ and crystal size of $Y_2 = 1.62998 - 0.392975(A/6)$. In this model the extraction time variable does not appear because this variable is not significant for adsorption capacity and crystal size. The higher the HCl concentration, the greater the adsorption capacity and the smaller the crystal size of IIPs-Fe(III)

Keywords: *Ion imprinted polymers (IIPs), Fe(III), factorial design, optimization, adsorption, modeling*

Citations : 66 (2011-2023)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
RINGKASAN.....	ix
SUMMARY	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Keaslian Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Rancang Eksperimen	6
2.1.1 Teknik Optimasi.....	6
2.1.2 Desain Faktorial	7
2.1.3 Desain Faktorial 2 ^k	9
2.1.4 Uji ANOVA.....	9
2.2 Logam Besi	9
2.3 Adsorpsi.....	10
2.3.1 Penjelasan Adsorpsi	10
2.3.2 Mekanisme Adsorpsi.....	10
2.3.3 Jenis-Jenis Adsorpsi	11

2.3.3.1 Adsorpsi Fisika.....	11
2.3.3.2 Adsorpsi Kimia.....	12
2.3.4 Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi.....	12
2.3.5 Jenis Adsorben.....	12
2.3.6 Sifat Adsorben.....	13
2.3.7 Waktu Kontak.....	13
2.4 Metode Sintesis Polimer.....	14
2.5 Polimer Ion Imprinted Polymers (IIPs).....	14
2.6 Karakterisasi Material.....	15
2.6.1 Karakterisasi FTIR.....	15
2.6.2 Karakterisasi XRD.....	17
2.6.3 Karakterisasi AAS.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Jenis dan Struktur Penelitian.....	20
3.1.1 Jenis Penelitian.....	20
3.1.2 Struktur Penelitian.....	20
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	20
3.2.1 Tempat Penelitian.....	20
3.2.2 Waktu Penelitian.....	20
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	20
3.3.1 Alat Penelitian.....	21
3.3.2 Alat Karakterisasi Penelitian.....	22
3.3.3 Bahan Penelitian.....	22
3.4 Tahapan dan Prosedur Penelitian.....	23
3.4.1 Rancang Eksperimen.....	23
3.4.2 Sintesis Polimer Fe (III).....	25
3.4.3 Ekstraksi Polimer Fe(III).....	25
3.4.4 Analisis Data.....	26
3.4.4.1 Karakterisasi sampel.....	26
3.4.4.2 Ekspektasi Hasil Karakterisasi.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Hipotesis Penelitian.....	29

4.2 Hasil Sintesis dan Ekstraksi Material.....	29
4.2.1 Hasil Sintesis Polimer Fe(III)	29
4.2.2 Hasil Ekstraksi Polimer Fe(III).....	32
4.3 Hasil Karakterisasi Material	34
4.3.1 Hasil Karakterisasi FTIR.....	34
4.3.2 Hasil Karakterisasi XRD	36
4.3.3 Hasil Karakterisasi AAS	38
4.4 Analisis Data Proses Ekstraksi IIPs-Fe(III)	40
4.4.1 Analisis ANOVA	41
4.4.2 Hasil Analisis Uji Hipotesis Penelitian	44
BAB V PENUTUP	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	56

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Konsep dasar proses adsorpsi (El-Baz et al.,2020)	11
Gambar 2. 2 Ilustrasi sintesis polimer bercetakan (Shen et al.,2023).....	15
Gambar 2. 3 Skema kinerja FTIR (Nan et al., 2021).....	17
Gambar 2. 4 Proses kerja XRD saat melakukan karakterisasi pada sampel (Fetisov, 2020).....	18
Gambar 3. 1 Bagan alir tahapan penelitian sintesis polimer Fe(III).....	24
Gambar 3. 2 Bagan alir sintesis polimer Fe(III).....	27
Gambar 3. 3 Bagan alir ekstraksi polimer Fe(III)	28
Gambar 4. 1 Larutan pra-polimer Fe(III).....	30
Gambar 4. 2 Polimer padat Fe(III)	31
Gambar 4. 3 (a) Larutan ekstraksi perulangan pertama. (b) Larutan ekstraksi perulangan kelima.....	32
Gambar 4. 4 Hasil ekstraksi polimer Fe(III) dengan menggunakan Formulasi <i>Software DX</i>	33
Gambar 4. 5 Grafik hasil karakterisasi FTIR	34
Gambar 4. 6 Grafik hasil karakterisasi XRD IIPs-Fe(III).....	37
Gambar 4. 7 (a) Hubungan kapasitas adsorpsi terhadap konsentrasi HCl dan waktu ekstraksi (b) Hubungan ukuran kristal terhadap konsentrasi HCl dan waktu ekstraksi	43
Gambar 4. 8 Model optimal esktraksi IIPs-Fe(III). (a) Terhadap kapasitas adsorpsi. (b) Terhadap ukuran kristal	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3. 1 Alat sintesis polimer IIPs-Fe(III)	21
Tabel 3. 2 Alat karakterisasi penelitian.....	22
Tabel 3. 3 Alat Sintesis Polimer IIPs-Fe(III)	22
Tabel 3. 4 Tabel Rancangan Percobaan Desain Faktorial	23
Tabel 4. 1 Bilangan gelombang pada gugus fungsi (Skoog et al., 2017).....	35
Tabel 4. 2 Besar nilai bilangan gelombang dan persen transmitansi IIPs-Fe(III)	35
Tabel 4. 3 Hasil perhitungan ukuran kristal IIPs-Fe(III)	38
Tabel 4. 4 Hasil uji kinerja material IIPs-Fe(III).....	39
Tabel 4. 5 Data input ke aplikasi DX 11	41
Tabel 4. 6 Hasil analisis <i>software</i> DX terhadap kapasitas adsorpsi dan estimasi ukuran kristal IIPs-Fe(III)	42
Tabel 4. 7 Perbandingan nilai α	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Alat dan bahan sintesis material	57
Lampiran 2. Hasil ekstraksi polimer Fe(III) dengan menggunakan HCl.....	61
Lampiran 3. Hasil karakterisasi XRD	62
Lampiran 4. Hasil karakterisasi FTIR.....	66
Lampiran 5. Hasil karakterisasi AAS	70
Lampiran 6. Hasil perhitungan estimasi ukuran kristal material dan kapasistas adsorpsi polimer IIPs-Fe(III).....	711
Lampiran 7. Foto kegiatan dalam mengerjakan penelitian	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam berat merupakan kategori logam dengan densitas yang cukup tinggi dan beracun bagi makhluk hidup ketika terjadi penumpukan dalam jumlah yang sangat besar. Pada umumnya logam berat digunakan dalam berbagai industri seperti pertambangan, manufaktur dan pertanian (Ratnawati et al., 2019). Pertumbuhan industri yang sangat pesat ini ikut berkontribusi dalam menghasilkan produksi limbah logam berat. Dalam kegiatan industri, pelepasan logam berat ke lingkungan melalui berbagai perantara termasuk emisi udara, limbah cair dan limbah padat. Penumpukan limbah logam berat dengan konsentrasi yang tinggi dalam lingkungan dapat menyebabkan kontaminasi air, tanah dan udara (Briffa et al., 2020). Namun, karena logam berat yang bersifat toksik dan berbahaya maka penggunaan serta pembuangan logam berat harus memenuhi regulasi yang ketat guna melindungi kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan. Hal ini dikarenakan paparan dalam jangka panjang terhadap logam berat dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti, kerusakan organ tubuh, merusak sistem saraf, ginjal, hati dan sistem peredaran darah (Mitra et al., 2022). Sehingga perlu adanya upaya pencegahan dan pengendalian pencemaran logam berat melalui peningkatan standarisasi keamanan industri, pengelolaan limbah yang memenuhi standar aman dan penggunaan teknologi yang bersih dan aman untuk mengurangi dampak buruk limbah logam berat terhadap lingkungan dan manusia.

Berbagai upaya pencegahan dan penanganan seperti pengendalian emisi, pemulihan lahan terkontaminasi, pengelolaan dan pengolahan air limbah, serta pemantauan lingkungan telah dilakukan guna mengurangi penumpukan logam berat pada lingkungan. Pengelolaan dan pengolahan air yang baik pada penanganan cemaran logam berat ini juga memastikan keberlanjutan sumber daya alam yang penting bagi keberlangsungan makhluk hidup lainnya (Wu et al., 2021). Limbah dari kegiatan industri, pertanian intensif dan penambangan yang dilakukan oleh manusia seringkali dibuang langsung ke lingkungan perairan tanpa adanya pengolahan dan pengelolaan yang memadai. Pengelolaan yang baik meliputi upaya pencegahan,

pemantauan dan pengendalian sumber polutan logam berat, sedangkan pengolahan bertujuan untuk mengolah logam berat yang mencemari lingkungan melalui proses penghilangan atau pengurangan kadar konsentrasi logam berat terhadap lingkungan biologisnya (Zouboulis & Katsoyiannis, 2018). Kedua proses ini saling mendukung dalam upaya menjaga keberlangsungan lingkungan perairan yang harus dilakukan secara menyeluruh.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi menghasilkan beberapa upaya yang dapat digunakan untuk mengelola cemaran logam berat, seperti pengolahan fisika yang melibatkan metode pengendapan, filtrasi dan *floating*, pengolahan kimia yang melibatkan metode adsorpsi dan pengolahan biologis yang menggunakan metode bioremediasi dan fitoremediasi (Pakharuddin et al., 2021). Metode adsorpsi merupakan salah satu teknik yang banyak digunakan untuk mengurangi kadar konsentrasi logam berat dari lingkungan perairan. Hal ini dikarenakan metode adsorpsi memiliki efisiensi yang tinggi dalam proses degradasi logam berat, melimpahnya bahan adsorben yang digunakan dan ramah lingkungan (Qasem et al., 2021). Saat ini bahan polimer bercetakan menjadi salah satu fokus peneliti untuk dikembangkan menjadi material cerdas adsorben. Hal ini dikarenakan polimer bercetakan memiliki kemampuan untuk memproduksi bentuk yang kompleks dan fleksibel dengan kemampuan adsorpsi yang dapat dikontrol. Selain itu polimer bercetakan memiliki permukaan yang dapat dioptimalkan untuk melakukan adsorpsi spesifik terhadap polutan tertentu (Jakavula et al., 2022). Sehingga polimer bercetakan memberikan potensi untuk penggunaan yang lebih efektif dan efisien dalam memperbaiki kualitas lingkungan dan kehidupan manusia secara holistik.

Sintesis polimer bercetakan yang membutuhkan waktu relatif lama pada saat proses *imprinting* dan rendahnya kapasitas adsorpsi menjadi permasalahan ketika polimer IIPs digunakan sebagai adsorben. Berbagai teknik optimasi telah dilakukan dan dikembangkan seperti penggunaan pelarut yang terpilih, pemilihan monomer dan pengikat silang yang tepat dan melakukan modifikasi sintesis yang lebih efisien (Mohsen et al., 2022). Namun, sintesis polimer percetakan dengan menggunakan metode ini tidak ekonomis, hasil sintesis yang tidak dapat diprediksi dengan akurat dan metode optimasi ini tidak memberikan pemahaman tentang hubungan antara struktur polimer dan kapasitas adsorpsi polimer IIPs. Sehingga peneliti menggunakan

pendekatan yang lebih akurat untuk optimasi sintesis polimer bercetakan melalui desain eksperimen dengan pendekatan faktorial (Jankovic et al.,2021).

Metode optimasi dengan menggunakan pendekatan faktorial melibatkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses sintesis dan mengamati material yang akan dihasilkan dengan memvariasikan kombinasi faktor-faktor sintesis polimer bercetakan (Özbay et al., 2013). Faktor yang dipertimbangkan peneliti pada saat melakukan optimasi kapasitas adsorpsi dan ukuran kristal polimer bercetakan yaitu, konsentrasi dan waktu pada saat ekstraksi zat aktif dari badan polimer IIPs. Melalui metode desain eksperimen dengan pendekatan faktorial ini memungkinkan peneliti untuk secara sistematis menguji dan memahami pengaruh faktor sintesis terhadap hasil sintesis polimer bercetakan yang dilakukan peneliti (Dennison et al., 2016). Melalui pendekatan optimasi ini diharapkan mampu menghemat waktu dan mendapatkan pemahaman yang koheren antara faktor- faktor yang mempengaruhi proses sintesis polimer bercetakan terhadap kapasitas adsorpsi material IIPs.

Dengan melakukan optimasi ekstraksi polimer Fe(III) menggunakan pendekatan desain faktorial, penelitian ini diharapkan mampu memberikan signifikansi penting tentang faktor-faktor yang mempengaruhi pelepasan zat aktif dari badan polimer pada saat proses ekstraksi, serta didapatkan formula ekstraksi dengan kapasitas adsorpsi dan ukuran kristal yang optimal. Hasil penelitian ini juga diharapkan menjadi dasar untuk dilakukan pengembangan lebih lanjut terhadap kapasitas adsorpsi material IIPs (*Ion Imprinted Polymers*) sebagai material cerdas adsorpsi untuk mengatasi masalah pencemaran logam berat Fe(III) pada lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apa pengaruh faktor konsentrasi HCl dan lama waktu yang digunakan pada saat proses ekstraksi polimer Fe(III) terhadap besar nilai kapasitas adsorpsi dan ukuran kristal polimer IIPs-Fe(III).
2. Bagaimana hasil pemodelan rancang eksperimen pada saat ekstraksi polimer Fe(III) terhadap kapasitas adsorpsi dan ukuran kristal.

1.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan dari observasi yang telah dilakukan peneliti, penelitian tentang Optimasi ekstraksi polimer IIPs bercetakan ion Fe(III) menggunakan rancang eskprimen dengan metode faktorial 2^k belum pernah dilakukan. Penelitian serupa yang pernah dilakukan adalah penelitian tentang pengaruh konsentrasi HCl dan HNO₃ dalam pembentukan rongga pada polimer IIPs-Fe(III) (Novianty et al., 2023).

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah pada sintesis polimer bercetakan logam berat Fe(III) dan menggunakan desain faktorial pada saat melakukan rancang eksperimen dengan variabel ekstraksi, konsentrasi pelarut dan waktu dalam mempengaruhi kapasitas adsorpsi dan ukuran kristal polimer IIPs- Fe(III). Sintesis polimer Fe(III) yang dilakukan didasarkan pada penelitian sebelumnya yang berhasil dimodifikasi.

1.5 Tujuan Penelitian

1. Memperoleh polimer IIPs (*Ion Imprinted Polymers*) bercetakan ion logam Fe(III) menggunakan metode *cooling-heating* sebagai adsorben logam berat Fe (III).
2. Mendapatkan pemodelan untuk proses ekstraksi pelepasan Fe(III) dari badan polimer Fe(III) dengan menggunakan rancangan eksperimen desain faktorial

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini meliputi:

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan adsorben menggunakan *Ion Imprinted Polymers* (IIPs) untuk menyerap ion logam Fe(III).
2. Menyediakan data karakterisasi dan identifikasi adsorben IIPs Fe(III) yang dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.
3. Membuat polimer IIPs-Fe(III) dengan waktu yang lebih efisien serta biaya yang lebih murah.
4. Merekomendasikan pemodelan matematis proses ekstraksi polimer Fe(III) yang dirancang dengan menggunakan desain faktorial

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi Kiswandono, A., Luh Gede Ratna Juliasih, N., Ferdian Dicky Permana, D., Kimia, J., Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F., Lampung Jl Sumantri Brojonegoro No, U., Lampung, B., & Kunci, K. (n.d.). *Pemanfaatan Karbon Aktif Sekam Padi Sebagai Adsorben Phenantrena Dalam Solid Phase Extraction* (Vol. 6, Issue 2).
- Aini, N. N., Widyastuti, W., & Fajarin, R. (2016). Pengaruh Jenis Polimer Terhadap Reflection Loss Pada Polymer Matrix Composite (Pmc) Barium Heksaferrit Sebagai Radar Absorbing Material (RAM). *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 125–129.
- Aji, A., Bahri, S., & Tantalia, T. (2018). Pengaruh Waktu Ekstraksi Dan Konsentrasi HCl Untuk Pembuatan Pektin Dari Kulit Jeruk Bali (*Citrus maxima*). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 6(1), 33. <https://doi.org/10.29103/jtku.v6i1.467>
- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2022). X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/min12020205>
- Arip Mastian, S., Apriani, I., & Kadaria, U. (2022). Pengaruh Waktu Kotak Proses Adsorpsi Dan Filtrasi Terhadap Perubahan Konsentrasi Besi, Warna, Dan Ph Pada Air Sumur. *Rekayasa Lingkungan Tropis*, 3(1), 75–82.
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. Gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Dennison, T. J., Smith, J., Hofmann, M. P., Bland, C. E., Badhan, R. K., Al-Khattawi, A., & Mohammed, A. R. (2016). Design of experiments to study the impact of process parameters on droplet size and development of non-invasive imaging techniques in tablet coating. *PLoS ONE*, 11(8), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157267>.
- Dewi, L., & Hadisoebroto, G. (2021). Penentuan Kadar Logam Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu) Pada Sumber Air Di Kawasan Gunung Salak Kabupaten

- Sukabumi Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (Ssa). *Jurnal Sabdariffarma*, 9(2), 15–24. <https://doi.org/10.53675/jsfar.v3i2.393>
- El-Baz, A., Hendy, I., Dohdoh, A., & Srour, M. (2020). Adsorption technique for pollutants removal; current new trends and future challenges – A Review. *Egyptian Journal for Engineering Sciences and Technology*, 32(1), 1–24. <https://doi.org/10.21608/eijest.2020.45536.1015>
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Al Husaeni, D. F., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(1), 65–76. <https://doi.org/10.17509/ajse.v2i1.37647>
- Ferreira, S. L. C., Bezerra, M. A., Santos, A. S., dos Santos, W. N. L., Novaes, C. G., de Oliveira, O. M. C., Oliveira, M. L., & Garcia, R. L. (2018). Atomic absorption spectrometry – A multi element technique. In *TrAC -Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 100, pp. 1–6). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.12.012>
- Fetisov, G. V. (2020). X-ray diffraction methods for structural diagnostics of materials: progress and achievements. *Physics-Uspekhi*, 63(1), 2–32. <https://doi.org/10.3367/ufne.2018.10.038435>
- Firnando, H. G., & Astuti. (2015). Pengaruh Suhu Pada Proses Sonikasi Terhadap Morfologi Partikel dan Kristalinitas Nanopartikel Fe₃O₄. *Fisika Unand*, 4(1), 1–5.
- Hastjarjo, T. D. (2019). Rancangan Eksperimen-Kuasi. *Buletin Psikologi*, 27(2), 187. <https://doi.org/10.22146/buletinpsikologi.38619>
- Hendy Tannady, W. E. M. (2015). Pengamatan Waktu Pelayanan Operator Pintu Tol Dengan Uji Hipotesis Analysis of Variance (Anova) (Studi Kasus : Gerbang Tol Ancol Timur, Jakarta Utara). *JIEMS Journal of Industrial Engineering & Management Systems*, 8(1), 26–54.
- Hidayat, I. R., Zuhrotun, A., & Sopyan, I. (2020). Design-Expert Software sebagai Alat Optimasi Formulasi Sediaan Farmasi. *Majalah Farmasetika*, 6(1), 99–120. <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v6i1.27842>
- Jakavula, S., Biata, N. R., Dimpe, K. M., Pakade, V. E., & Nomngongo, P. N. (2022). A Critical Review on the Synthesis and Application of Ion- Imprinted Polymers

- for Selective Preconcentration, Speciation, Removal and Determination of Trace and Essential Metals from Different Matrices. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 52(2), 314–326.
<https://doi.org/10.1080/10408347.2020.1798210>
- Jankovic, A., Chaudhary, G., & Goia, F. (2021). Designing the design of experiments (DOE) – An investigation on the influence of different factorial designs on the characterization of complex systems. *Energy and Buildings*, 250, 111298.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111298>.
- Karimi, S., Tavakkoli Yarak, M., & Karri, R. R. (2019). A comprehensive review of the adsorption mechanisms and factors influencing the adsorption process from the perspective of bioethanol dehydration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107(March), 535–553. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.025>.
- Kartika et al. (2022). Analisis Jumlah Rongga Tercetak pada Ion Imprinted Polymer (IIPs)-Fe(III) Yang disintesis menggunakan Metode Cooling- heating. *Jurnal Penelitian Sains*, 24(1).
- KartikKhajeh, M., Heidari, Z. S., & Sanchooli, E. (2011). Synthesis, characterization and removal of lead from water samples using lead-ion imprinted polymer. *Chemical Engineering Journal*, 166(3), 1158–1163.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.12.018>
- Laricha Salomon, L., Kosasih, W., & Oscar Angkasa, S. (2015). Perancangan Eksperimen untuk Meningkatkan Kualitas Ketangguhan Material dengan Pendekatan Analisis General Factorial Design (Studi Kasus: Produk Solid Surface). *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 4(1), 20–26.
- Langenberg, B., Helm, J. L., & Mayer, A. (2022). Repeated Measures ANOVA with Latent Variables to Analyze Interindividual Differences in Contrasts. *Multivariate Behavioral Research*, 57(1), 2–19.
<https://doi.org/10.1080/00273171.2020.1803038>
- Li, Z., Su, Q., Jiang, W., & Wu, L. (2023). Preparation of a thermosensitive surface imprinted polymer based on palygorskite for removal of copper (II) from environment aqueous solution. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103(14), 3235–3250.
<https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1905805>

- Lins, S. S., Virgens, C. F., dos Santos, W. N. L., Estevam, I. H. S., Brandão, G. C., Felix, C. S. A., & Ferreira, S. L. C. (2019). On-line solid phase extraction system using an ion imprinted polymer based on dithizone chelating for selective preconcentration and determination of mercury(II) in natural waters by CV AFS. *Microchemical Journal*, *150*(July), 104075.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104075>
- Lusiana, R. A., & Prasetya, N. B. A. (2020). Indonesian Journal of Chemical Science Pengaruh Penambahan Aditif terhadap Karakterisasi Fisikokimia Membran Polisulfon. *Indonesian Journal of Chemical Science*, *9*(3), 197.
<http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Khan, A. U., Ur Rehman, M., Zahoor, M., Shah, A. B., & Zekker, I. (2021). Biodegradation of brown 706 dye by bacterial strain pseudomonas aeruginosa. *Water(Switzerland)*, *13*(21).<https://doi.org/10.3390/w13212959>
- Maimuna, Monado, F., & Royani, I. (2020). Studi awal pengaruh kloroform sebagai pelarut pada proses ekstraksi molecularly imprinted polymer (MIP) nano kafein. *Jurnal Fisika* , *10*(1), 1–7.
- Manik, L., Jalaluddin, J., Dewi, R., Bahri, S., & Zulfazri, Z. (2022). Pengaruh Asam Nitrat (HNO₃) Sebagai Pelarut Pada Ekstraksi Pektin Dari Labu Siam. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, *2*(4), 59.
<https://doi.org/10.29103/cejs.v2i4.7700>
- Mitra, S., Chakraborty, A. J., Tareq, A. M., Emran, T. Bin, Nainu, F., Khusro, A., Idris, A. M., Khandaker, M. U., Osman, H., Alhumaydhi, F. A., & Simal- Gandara, J. (2022). Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saudi University- Science*, *34*(3), 101865.
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>
- Mohsen, H. N., Al-Bayati, Y. K., & Jalil, R. R. (2022). Iron Ionic Imprinted Polymers Iips for Separation and Preconcentration of Iron from Crude and Fuel Oil. *Journal of Petroleum Research and Studies*, *12*(2), 27–46.
- Nan, C., Yue, W., Tao, L., & Yang, X. (2021). Fourier transform infrared nano-spectroscopy: Mechanism and applications. In *Applied Spectroscopy Reviews*

- (Vol. 56, Issue 7, pp. 531–552). Taylor and Francis Ltd.
<https://doi.org/10.1080/05704928.2020.1830789>
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1),97–118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Nasriyanti, D., Zukhrufi, Z., & Fajarwati, F. I. (2020). Effect of Solvents on Acrylic Polymerization and Application in Wood Coatings. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 5(2), 42–50.
- Novianty, Edianta, J.,Jorena, Saleh, K., Bama, A. A., Koryanti, E., Ariani, M., Royani, I., (2023). Synthesis of Fe(III)-IIPs (Ion Imprinted Polymers): Comparing Different Concentrations of HCl and HNO₃ Solutions in the Fe(III) Polymer Extraction Process for Obtaining the Largest Cavities in Fe(III)-IIPs. *Science and Technology Indonesia*. 8(3), 363-366
- Özbay, N., Yargıç, A. Ş., Yarbay-Şahin, R. Z., & Önal, E. (2013). Full factorial experimental design analysis of reactive dye removal by carbon adsorption. *Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2013/234904>
- Pakharuddin, N. H., Fazly, M. N., Ahmad Sukari, S. H., Tho, K., & Zamri, W. F. H. (2021). Water treatment process using conventional and advanced methods: A comparative study of Malaysia and selected countries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 880(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/880/1/012017>
- Pambudi, A., Farid, M., & Nurdiansah, H. (2017). Analisa Morfologi dan Spektroskopi Infra Merah Serat Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Hasil Proses Alkalisasi Sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 441–444. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24808>
- Polák, P., Prístavka, M., & Kollárová, K. (2015). Evaluating the effectiveness of production process using pareto analysis. *Acta Technologica Agriculturae*, 18(1), 18–21. <https://doi.org/10.1515/ata-2015-0005>
- Putri, W. A. E., & Anggraini, N. (2022). Jurnal Penelitian Sains. *Jurnal Penelitian Sains*, 24(1), 24–28.

- Qasem, N. A. A., Mohammed, R. H., & Lawal, D. U. (2021). Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review. *Npj Clean Water*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00127-0>
- Qiu, S. X., Zhang, S. F., Zhang, Q. Y., Qiu, G. B., & Wen, L. Y. (2017). Effect of iron compounds on pyrolysis behavior of coals and metallurgical properties of resultant cokes. *Journal of Iron and Steel Research International*, 24(12), 1169–1176. [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(18\)30014-1](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(18)30014-1)
- Rakhmawati, I., Kurniawan, C., & Harjono. (2019). Pengaruh Konsentrasi Metilenbisakrilamida dalam Sintesis Komposit Poli (Asam Akrilat) -Kaolin dan Pengujiannya sebagai Superabsorben. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 8(2), 93–104.
- Ramadhani, R. A., Riyadi, D. H. S., Triwibowo, B., & Kusumaningtyas, R. D. (2017). Review Pemanfaatan Design Expert untuk Optimasi Komposisi Campuran Minyak Nabati sebagai Bahan Baku Sintesis Biodiesel. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 1(1), 11. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v1i1.5>
- Ratnawati, N. A., Prasetya, A. T., & Rahayu, E. F. (2019). Validasi Metode Pengujian Logam Berat Timbal (Pb) dengan Destruksi Basah Menggunakan FAAS dalam Sedimen Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *J. Chem. Sci*, 8(1), 60–68.
- Rahmayani, J., & Idha Royani. (2021). Analisis Proses Ekstraksi pada Nano Kafein Terhadap Konsentrasi Kafein Terbuang pada Molecularly Imprinted Polymer (MIP) dan Rongga Tercipta. In *Indonesian Journal of Applied Physics* (Vol. 11, Issue 1).6
- Rismiarti, R., Fitria, E., & Utami, S. (2016). Synthesis and characterization of Fe(III) ion imprinted polymer for adsorption of lead (II) ions. *International Journal of Chemistry*, 6(4), 89-94.
- Royani, A., & Subagja, R. (2019). Ekstraksi kalsium dari bijih dolomit terkalsinasi menggunakan pelarutan asam klorida. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 15(1), 13–22. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol15.no1.2019.924>
- Sadani, M., Rasolevandi, T., Azarpira, H., Mahvi, A. H., Ghaderpoori, M., Mohseni, S. M., & Atamaleki, A. (2020). Arsenic selective adsorption using a nanomagnetic ion imprinted polymer: Optimization, equilibrium, and

- regeneration studies. *Journal of Molecular Liquids*, 317, 114246.
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114246>
- Safrina, D., Ulfa Safitri, A., Suptijah, P., & Fariz Pari, R. (2023). Pre-treatment of Lobster Shell Using Hydrochloric Acid for Nanochitosan Production. *Journal of Marine and Coastal Science*, 12(2), 67–75.
<https://doi.org/10.20473/jmcs.v12i2.45883>
- Saputri, R., Prawatya, Y. E., & Uslianti, S. (2020). Desain Eksperimen Oven Kopro menggunakan Response Surface Methodology (RSM). *Jurnal TIN Universitas Tanjungpura*, 4(1), 13–20.
- Sopyan, I., Gozali, D., Sriwidodo, & Guntina, R. K. (2022). Design-Expert Software (Doe): an Application Tool for Optimization in Pharmaceutical Preparations Formulation. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 14(4), 55–63.
<https://doi.org/10.22159/ijap.2022v14i4.45144>
- 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, Issue10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym15102344>
- Sirumapea, L., Zulfikar, M. A., Amran, M. B., & Alni, A. (2018). An Optimization of Functional Monomer, A Preliminary Study of Meropenem Imprinted Polymer as Selective Sorbent. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 3(2), 103.
<https://doi.org/10.20961/jkpk.v3i2.22386>
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2017). Infrared spectroscopy. Boston: Cengage Learning
- Sunaryono, S., Taufiq, A., Nurdin, N., & Darminto, D. (2013). Kontribusi Filler Magnetik Fe₃O₄ pada Efek Histerisis Magneto-Elastisitas Komposit Ferogel. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 9(1), 37.
<https://doi.org/10.12962/j24604682.v9i1.837>
- Susanty, S., & Bachmid, F. (2016). Perbandingan Metode Ekstraksi Maserasi Dan Refluks Terhadap Kadar Fenolik Dari Ekstrak Tongkol Jagung (*Zea Mays L.*). *Jurnal Konversi*, 5(2), 87. <https://doi.org/10.24853/konversi.5.2.87-92>
- Tambun, R., Limbong, H. P., Pinem, C., & Manurung, E. (2016). Pengaruh Ukuran Partikel, Waktu Dan Suhu Pada Ekstraksi Fenol Dari Jahe. *Teknik Kimia USU, Vol. 5, No. 4 (Desember 2016) PENGARUH*, 5(4), 53–56.

- Wang, J., & Guo, X. (2020). Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications, and solving methods. *Journal of Hazardous Materials*, 390, 122156. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122156>
- Wu, J., Cao, M., Tong, D., Finkelstein, Z., & Hoek, E. M. V. (2021). A critical review of point-of-use drinking water treatment in the United States. *Npj Clean Water*, 4(1), 1–25. <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00128-z>
- Xu, X., Wang, M., Wu, Q., Xu, Z., & Tian, X. (2017). Synthesis and application of novel magnetic ion-imprinted polymers for selective solid phase extraction of cadmium (II). *Polymers*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/polym9080360>
- Zhang, Z., Zhang, Y., & Wang, X. (2022). Effect of HCl concentration on the adsorption of Fe(III) by IIPs Fe(III). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry Research*, 186, 115796.
- Zhao, X., Zhang, Y., Liu, S., & Liu, Y. (2021). Effect of HCl on the adsorption capacity and crystal size of IIPs Fe(III). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(6), 105812.
- Zhu, G. jin, Tang, H. yan, Zhang, H. ling, Pei, L. li, Zhou, P., Shi, Y. lang, Cai, Z. hua, Xu, H. bin, & Zhang, Y. (2019). A novel ion-imprinted polymer for selective removal of trace Fe(III) from Cr(III)-containing solutions. *Hydrometallurgy*, 186, 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.04.002>
- Zouboulis, A. I., & Katsoyiannis, I. A. (2018). Recent advances in water and wastewater treatment with emphasis in membrane treatment operations. *Water (Switzerland)*, 11(1), 1–6. <https://doi.org/10.3390/w11010045>