



Optimasi ekstraksi polimer IIPs bercetakan ion Fe^{3+} terhadap kapasitas adsorpsi menggunakan metode desain faktorial

MUHAMMAD HIJRAH², FITRI SURYANI ARSYAD^{1,2,3}, OCTAVIANUS¹, JORENA¹, FRINSYAH VIRGO^{1,2}, DAN IDHA ROYANI^{1,2,3*}

¹Jurusan Fisika, ²Program Studi Magister Fisika, ³Laboratorium Sains Material Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya Sumatera Selatan 30862, Indonesia

<p>Kata kunci: Ion Imprinted Polymers (IIPs) adsorpsi Fe(III) desain faktorial, optimasi</p>	<p>ABSTRAK: Adsorpsi merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk mendegradasi logam berat dari lingkungan. Berbagai adsorben telah banyak digunakan dan sampai saat ini penelitian telah berhasil mengembangkan polimer bercetakan sebagai adsorben logam berat. Optimasi ekstraksi polimer dalam menghasilkan IIPs bercetakan Ion Fe^{3+} dengan menggunakan desain faktorial diharapkan mampu menghasilkan polimer IIPs dengan waktu sintesis yang relatif singkat. Polimer Fe (III) yang telah disintesis dengan metode <i>cooling-heating</i> diekstraksi dengan larutan HCL. Proses ekstraksi dilakukan berdasarkan rancang eksperimen yang telah dilakukan dengan mengkombinasikan faktor dan level faktor ekstraksi. Selanjutnya hasil eksperimen dilakukan karakterisasi XRD, FTIR dan AAS untuk mengevaluasi hasil ekstraksi polimer Fe (III) dan sebagai data respon yang akan dianalisis pada <i>software</i> DX. Hasil optimum terjadi pada eksperimen dengan larutan ekstraksi 6 M dan waktu ekstraksi selama 8 Jam. Model matematika yang dihasilkan pada kapasitas adsorpsi yaitu, $Y = 1,65112 + 0,165875A$ dan pada ukuran kristal yaitu, $Y = 1,62998 - 0,392975A$. Penelitian ini mendapatkan korelasi bahwasannya semakin besar nilai konsentrasi pelarut pada proses ekstraksi mempengaruhi peningkatan kapasitas adsorpsi dan penurunan ukuran kristal material IIPs-Fe^{3+}.</p>
<p>Keywords: Ion Imprinted Polymer (IIPs) adsorption Fe(III) factorial design optimization</p>	<p>ABSTRACT: Adsorption is a widely used method for degrading heavy metals in the environment. Researchers have developed several adsorbents over time, with imprinted polymers being a popular choice for heavy metal removal. However, the synthesis time for IIPs polymer is longer compared to other adsorbents. By utilizing factorial design, Fe^{3+} ion-mapped IIPs polymer extraction can be optimized, resulting in a relatively shorter synthesis time. The Fe(III) polymer synthesized via cooling-heating is extracted via HCL solution. The extraction process follows an experimental design that incorporates various factors and levels. Results are analyzed through XRD, FTIR, and AAS to assess the effectiveness of Fe(III) polymer extraction and utilized as response data for DX software analysis. Optimal results were obtained through experimentation with a 6 M extraction solution and an 8-hour extraction duration. The resulting mathematical model for adsorption capacity is represented by $Y = 1,65112 + 0,165875A$, and for crystal size, it is expressed as $Y = 1,62998 - 0,392975A$. This research has uncovered a correlation: the higher the solvent concentration value in the extraction process, the greater the adsorption capacity and the reduction in the crystal size of the IIPs-Fe^{3+} material.</p>

1 PENDAHULUAN

Logam berat memiliki sifat toksisitas yang sangat berbahaya bagi kesehatan makhluk hidup karena dalam jangka panjang dapat memicu pertumbuhan sel kanker dan merusak kinerja organ tubuh. Pertumbuhan kegiatan industri yang terus meningkat seiring waktu juga berkontribusi besar dalam

menghasilkan berbagai logam berat[1]. Logam berat yang dihasilkan dilepaskan ke lingkungan dengan berbagai perantara seperti emisi udara, limbah cair dan limbah padat. Penumpukan logam berat dengan konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan kontaminasi air, tanah dan udara. Sehingga perlu adanya upaya pencegahan dan pengendalian pencemaran logam berat guna mengurangi dampak

* Corresponding Author: email: idharoyani@unsri.ac.id

buruk logam berat terhadap lingkungan dan manusia[2].

Logam berat Fe merupakan salah satu sumber mikronutrien makro yang penting bagi makhluk hidup dan banyak dijumpai pada lingkungan dengan kadar yang sangat tinggi. Penelitian yang telah dikembangkan melaporkan terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk mengelola cemaran logam berat seperti pengelolaan fisika yang melibatkan metode filtrasi dan pengelolaan kimia dengan menggunakan metode adsorpsi[3]. Metode adsorpsi menjadi salah satu teknik yang banyak diaplikasikan karena memiliki efisiensi yang tinggi dalam mendegradasi logam berat. Penelitian dan pengembangan yang telah dilakukan penelitian sebelumnya melaporkan telah berhasil mensintesis polimer bercetakan yang dapat digunakan sebagai bahan adsorben dalam mendegradasi logam berat. Hal ini dikarenakan polimer bercetakan atau IIPs memiliki permukaan yang dapat dioptimalkan untuk melakukan adsorpsi spesifik terhadap polutan tertentu.

Sintesis polimer IIPs bercetakan ion Fe^{3+} telah berhasil dilakukan namun, pada saat proses *imprinting* atau ekstraksi membutuhkan waktu yang relatif lama. Berbagai metode telah dikembangkan seperti pemilihan pelarut, *crosslinker* dan modifikasi sintesis dengan metode *cooling-heating* [4]. Namun, metode sintesis yang dihasilkan tidak dapat diprediksi dengan akurat dan optimasi yang digunakan juga tidak memberikan korelasi antara ekstraksi polimer IIPs terhadap kapasitas adsorpsi polimer IIPs. Sehingga pada penelitian ini digunakan pendekatan yang lebih akurat untuk optimasi sintesis polimer Fe (III) melalui desain eksperimen faktorial. Pada metode ini nantinya akan melibatkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses sintesis dan akan mengamati hasil eksperimen dengan memvariasikan kombinasi faktor-faktor sintesis polimer IIPs [5].

Penggunaan desain faktorial diharapkan mampu memberikan pemahaman terhadap korelasi yang terjadi pada setiap faktor dan menghasilkan waktu proses *imprinting* yang lebih singkat dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini juga diharapkan mampu memberikan signifikansi penting terhadap faktor yang mempengaruhi pelepasan zat aktif dari badan polimer saat proses *imprinting*.

2 BAHAN DAN METODE

Proses sintesis dan ekstraksi polimer Fe (III) dengan menggunakan metode desain faktorial menggunakan bahan $Fe(NO_3)_3$, *Ethylene Glycol Dimethacrylate* ($C_{10}H_{14}O_4$), *Acetonitrile*, *Benzoyl Perox-*

ideI ($C_{14}H_{10}O_4$), *Methacrylic Acid* ($C_4H_6O_2$), *Aquabides*, air deionisasi dan HCL. Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, *Furnace*, lemari pendingin, batang pengaduk, gelas kimia, oven dan tabung reaksi sedangkan alat karakterisasi yang digunakan adalah XRD, FTIR dan AAS.

Penentuan Rancang Eksperimen Dengan Desain Faktorial

Desain faktorial merupakan salah satu metode rancang eksperimen yang digunakan dengan melibatkan dua atau lebih variabel bebas yang dimanipulasi [6]. Pada penelitian desain eksperimen faktorial yang digunakan yaitu 2^2 yang terdiri dari dua faktor dengan setiap faktor terdiri dari dua buah level. Faktor ekstraksi polimer Fe (III) terdiri dari larutan ekstraksi dan lama waktu ekstraksi yang disusun dengan mengkombinasikan setiap level dari kedua faktor yang dapat dilihat pada Tabel 1. Respon dari kedua faktor pada saat proses ekstraksi nantinya akan diamati untuk menentukan bagaimana kedua faktor mempengaruhi proses ekstraksi terhadap kinerja material.

Tabel 1. Formulasi Ekstraksi Polimer Fe (III) Menggunakan Desain Faktorial

Percobaan	Lama Waktu Ekstraksi	Konsentrasi Larutan HCL
1	6 Jam	6 M
2	8 Jam	3 M
3	6 Jam	3 M
4	8 Jam	6 M

Proses Sintesis Polimer Fe (III)

Preparasi sampel dimulai dengan melarutkan 0,404 gr $Fe(NO_3)_3$ kedalam *acetonitril* sebanyak 40 mL kemudian 0,4 mL MAA, EDGMA sebanyak 3,96 dan 0,07 gr BPO dimasukkan secara berurutan. Selanjutnya proses homogenisasi larutan dilakukan dengan menggunakan bantuan hot plate pada suhu $40^\circ C$ selama 15 menit. Larutan pra-polimer yang telah selesai dihomogenisasi selanjutnya dilakukan proses polimerisasi dengan menggunakan metode *cooling-heating*. Proses pendinginan larutan pra polimer dilakukan pada suhu $-5^\circ C$ selama 60 menit kemudian akan dilakukan proses pemanasan dengan bantuan furnace pada suhu $75^\circ C$ selama 3 jam, $80^\circ C$ selama 2 jam dan $85^\circ C$ selama 1 jam [7]. Polimer Fe (III) yang telah berhasil disintesis selanjutnya gerus dengan menggunakan mortar dan dilakukan pencucian untuk memisahkan polimer Fe (III) dari impuritas yang masih menempel.

Proses Ekstraksi Polimer Fe (III)

Polimer Fe (III) yang telah berhasil disintesis dengan menggunakan *cooling-heating* selanjutnya akan dicuci terlebih dahulu sebelum dilakukan proses *im-printing* atau ekstraksi. Proses pencucian bertujuan untuk menghilangkan pengotor yang masih melekat pada badan polimer. Selanjutnya polimer Fe (III) diekstraksi menggunakan larutan HCL dan diaduk dengan menggunakan bantuan *hot plate*. Selanjutnya polimer Fe (III) yang telah diekstraksi dinetralkan dengan menggunakan air deionisasi dan kemudian dikeringkan pada oven bersuhu 60° C selama 60 menit.

Karakterisasi dan Analisis Data

Polimer Fe (III) yang telah diekstraksi berdasarkan dari rancang eskperimen desain faktorial selanjutnya dilakukan karakterisasi. Adapun karakterisasi yang dilakukan yaitu, karakterisasi XRD yang bertujuan untuk menghitung estimasi ukuran kristal polimer dan karakterisasi AAS bertujuan untuk menghitung besar konsentrasi hasil uji kinerja IIPs-Fe³⁺. Selanjutnya, hasil karakterisasi digunakan sebagai analisis respon pada *software* DX versi 11 untuk menentukan formula optimum dari rancang eksperimen faktorial yang telah dilakukan.

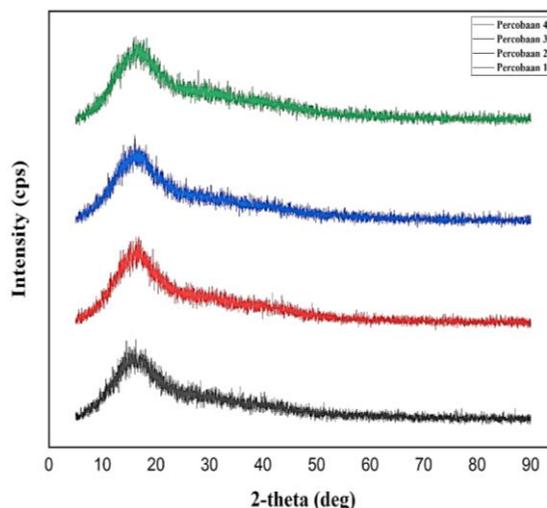
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD pada dasarnya memanfaatkan sinar X yang ditembakkan pada material maka akan diperoleh informasi seperti struktur kristal, komposisi fasa dan ukuran kristal [8]. Pada hasil karakterisasi XRD didapatkan pola difraksi yang kurang teratur terhadap masing-masing material dapat dilihat pada Gambar 1.

Diagram difraksi sinar-X dengan sumbu x (2-Theta) dan sumbu y (intensitas) memberikan informasi mengenai letak intensitas dan pantulan difraksi sinar-X terhadap material. Dimana posisi puncak pada sumbu x (2-Theta) berisi informasi tentang sudut difraksi terjadinya difraksi sinar-X oleh atom material yang bergantung pada jarak antar bidang kristal material. Tinggi puncak intensitas mencerminkan sejauh mana intensitas difraksi sinar-X pada sudut tertentu, dengan puncak-puncak yang lebih tinggi menunjukkan partisipasi atom yang lebih besar dalam difraksi, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kualitas bahan dan mengukur tingkat keteraturan kristal. Sementara itu, lebar puncak memberikan informasi tentang distribusi jarak antar bidang kisi dalam kristal, puncak yang lebih lebar

mengindikasikan distribusi lebih besar atau kristal yang kurang teratur, sedangkan puncak yang lebih tajam menunjukkan struktur kristal yang lebih teratur [9].



Gambar 1. Grafik Hasil Karakterisasi XRD IIPs-Fe³⁺

Tabel 2. Hasil Perhitungan Ukuran Kristal IIPs-Fe³⁺

Sampel	θ (°)	FWHM (deg)	β (rad)	D (nm)
Perc. 1 6 jam 6 M	$\theta_1 =$ 0,83	FWHM ₁ = 8,79	$\beta_1 =$ 0,1533	D ₁ = 0,9140
	$\theta_2 =$ 35,8	FWHM ₂ = 8,00	$\beta_2 =$ 0,1395	D ₂ = 1,2255
				$\bar{D} =$ 1,0698
Perc. 2 8 jam 3 M	$\theta_1 =$ 7,47	FWHM ₁ = 11,4	$\beta_1 =$ 0,1988	D ₁ = 0,7034
	$\theta_2 =$ 15,47	FWHM ₂ = 4,00	$\beta_2 =$ 0,0697	D ₂ = 2,0422
				$\bar{D} =$ 1,3838
Perc. 3 6 jam 3 M	$\theta_1 =$ 8,14	FWHM ₁ = 8,36	$\beta_1 =$ 0,1458	D ₁ = 0,9605
	$\theta_2 =$ 20,9	FWHM ₂ = 3,60	$\beta_2 =$ 0,0628	D ₂ = 2,3636
				$\bar{D} =$ 1,6621
Perc. 4 8 jam 6 M	$\theta_1 =$ 7,2	FWHM ₁ = 8,00	$\beta_1 =$ 0,1395	D ₁ = 1,0014
	$\theta_2 =$ 8,4	FWHM ₂ = 5,00	$\beta_2 =$ 0,0872	D ₂ = 1,6069
				$\bar{D} =$ 1,3042

Hasil Perhitungan estimasi ukuran kristal karakterisasi XRD pada Tabel 2 disusun berdasarkan pada persamaan *Debye-Secherrer*. Metode ini banyak diaplikasikan untuk mengukur ukuran butir kristal pada material padat dan bergantung pada lebar

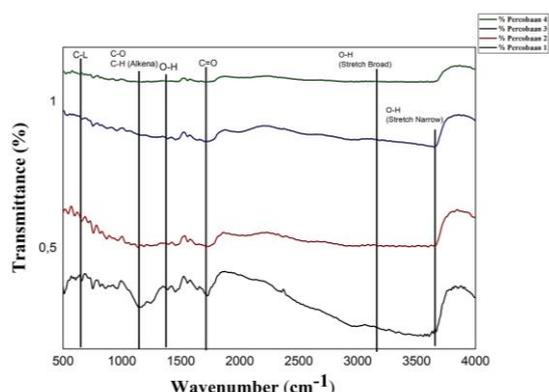
puncak difraksi FWHM (Full Width Half Maximum) yang muncul.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{1}$$

Pada saat melakukan perhitungan estimasi ukuran kristal maka perlu untuk mengukur panjang gelombang sinar-X, FWHM dan sudut *bragg* yang sesuai dengan puncak spektrum XRD. Kemudian besar dari nilai FWHM akan di ubah ke dalam radian untuk menentukan besar dari estimasi ukuran kristal pada material. Sehingga, pada percobaan ini didapatkan hasil estimasi rata-rata ukuran kristal pada waktu ekstraksi 8 jam lebih besar dibandingkan terhadap waktu ekstraksi 6 jam. Hal ini menunjukkan waktu ekstraksi berkontribusi terhadap perubahan ukuran kristal material IIPs-Fe³⁺. Semakin besar nilai FWHM maka akan semakin kecil pula hasil estimasi ukuran kristal yang terbentuk pada material. Namun, perlu diingat bahwa persamaan *Debye-Secherrer* menghasilkan estimasi ukuran kristal yang bersifat rata-rata dan dipengaruhi oleh keberagaman dari ukuran material dan jenis bahan yang dianalisis [10].

Hasil Karakterisasi FTIR

Karakterisasi FTIR merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis komposisi dan senyawa kimia dari suatu bahan. Hal ini didasarkan pada setiap senyawa kimia memiliki pola getaran yang khas terhadap spektrum infra merah. Hasil analisis absorpsi sinar infra merah terhadap polimer IIPs-Fe³⁺ pada masing-masing percobaan direpresentasikan oleh Gambar 2. Pada bilangan gelombang 600 cm⁻¹- 800 cm⁻¹ merupakan getaran intristik yang terjadi dari atom besi Fe dengan oksigen dalam struktur molekul. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat ikatan Fe-O dalam sampel yang menunjukkan Fe mudah berinteraksi dengan Oksigen. Keberadaan gugus fungsi C-L yang terbentuk menunjukkan keberadaan atom Fe pada polimer IIPs-Fe³⁺ pada masing-masing percobaan [11].



Gambar 2. Grafik Hasil Karakterisasi FTIR

Gugus fungsi ester C=O yang terbentuk pada bilangan gelombang sekitar 1730 cm⁻¹ menunjukkan adanya senyawa metil dari asam akrilat dan metakrilat. Hal ini dikonfirmasi kembali pada sekitar bilangan gelombang 1000 cm⁻¹ hingga 1300 cm⁻¹ terbentuk gugus fungsi C-O yang menunjukkan adanya ikatan antara atom C dan O pada senyawa ester [12]. Senyawa ester merupakan senyawa kimia yang terbentuk dari reaksi asam dan alkohol dengan pelepasan air. Sedangkan pada rentang bilangan gelombang 3360- 3510 cm⁻¹ menunjukkan keberadaan kelompok gugus fungsi O-H yang terbentuk merupakan karakteristik air pada polimer IIPs-Fe³⁺ dimasing-masing percobaan [13].

Hasil Uji Kinerja Adsorpsi

Polimer Fe (III) yang telah selesai diekstraksi selanjutnya akan dilakukan uji kinerja untuk mengetahui besar nilai kapasitas adsorpsi setiap percobaan. Tabel hasil uji kinerja pada masing-masing percobaan IIPs-Fe³⁺ dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan dari hasil uji kinerja didapatkan besar nilai kapasitas adsorpsi paling besar pada percobaan yang melibatkan HCL 6M dan lama waktu ekstraksi selama 8 Jam. Hal ini dikarenakan larutan HCL perlahan lahan melepaskan analit dari badan polimer yang kemudian membentuk cetakan analit pada polimer [14]. Semakin lama waktu ekstraksi maka akan semakin banyak pula cetakan terbentuk dan akan semakin banyak pula analit yang mampu dijerap oleh IIPs pada saat proses uji kinerja.

Tabel 3. Hasil Uji Kinerja Polimer IIPs-Fe³⁺

Material	Waktu (Menit)	Hasil AAS (C _i) (ppm)	Kapasitas Adsorpsi (Q) (mg/g)
Perc. 1	60	1,27	1,3095
Perc. 2	60	1,69	1,2465
Perc. 3	60	1,44	1,2840
Perc. 4	60	1,17	1,3245

Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi pada Hasil Tabel 3 didapatkan dengan menggunakan persamaan kapasitas adsorpsi:

$$Q = \frac{C_i - C_f}{m} V \tag{2}$$

dengan, C₀= 30 mg/L merupakan besar konsentrasi larutan uji mula-mula, m = 200 mg pada masing-masing percobaan, V= 40 mL, C_i merupakan besar konsentrasi larutan uji setelah dilakukan uji kinerja terhadap masing-masing material IIPs-Fe³⁺. Dari hasil analisa AAS menunjukkan setelah proses uji kinerja dilakukan percobaan keempat memperoleh konsentrasi larutan uji yang lebih sedikit dan

menghasilkan perhitungan kapasitas adsorpsi paling besar dari keempat percobaan yang telah dilakukan.

Penentuan Formulasi Optimum

Optimasi ekstraksi polimer IIPs bercetakan ion Fe³⁺ dilakukan dengan menggunakan *software* DX versi 11, dimana hasil karakterisasi ekstraksi polimer Fe (III) yang meliputi, estimasi kapasitas adsorpsi dan ukuran kristal akan digunakan sebagai data analisis respon dalam menentukan formulasi optimum. Data respon yang telah diperoleh selanjutnya akan divalidasi terlebih dahulu dengan metode analisis ANOVA. Validasi eksperimen menggunakan ANOVA didasarkan pada nilai P-value yang mengindikasikan sejauh mana perbedaan dan signifikansi eskperimen yang sedang diamati [15]. Dalam merespon hasil analisis ANOVA yang menunjukkan nilai P-value yang tidak signifikan, penyesuaian dilakukan pada keempat data percobaan. Dua data tertinggi ditingkatkan dengan menambahkan konstanta sebesar 0,5 sementara dua data terendah diperbarui dengan menambahkan sebesar 0,2. Langkah ini diambil untuk mengeksplorasi dampak perubahan tersebut terhadap hasil dan menjaga keseimbangan antara peningkatan dan konsistensi dalam data percobaan. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Data Input ke Aplikasi DX 11

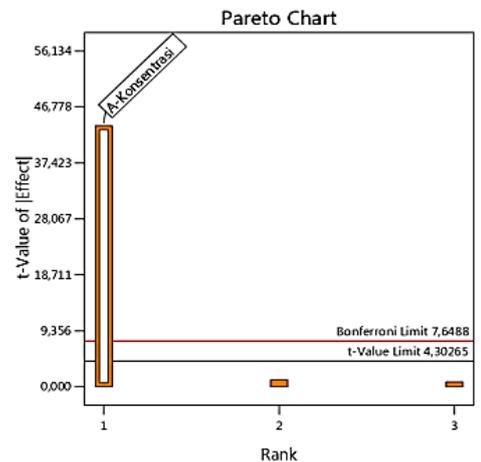
Material	A: Konsentrasi Molaritas	B: Waktu Jam	Respon 1 Kapasitas Adsorpsi mg/g	Respon 2 Ukuran Kristal nm
Perc. 1	6	6	1,8095	1,2698
Perc. 2	3	8	1,4865	1,8838
Perc. 3	3	6	1,4840	2,1621
Perc. 4	6	8	1,8245	1,2042

Pada data hasil penelitian didapatkan kapasitas adsorpsi paling besar diperoleh pada percobaan ke empat yang melibatkan molaritas HCL 6M dan waktu 8 jam. Kemudian data hasil penelitian diuji pada *software* DX dalam menentukan formulasi optimum dari percobaan yang telah dilakukan. Perubahan data yang diinputkan dilakukan untuk mempersempit faktor yang dianalisis dan memaksimalkan atau meminimalkan respon yang diamati. Hal ini dikarenakan pada optimasi eksperimen dengan *characterization* membutuhkan lebih banyak *run* per faktor. Sehingga perlu mempersempit daftar faktor yang diketahui dan memungkinkan optimum pada wilayah yang sedang diuji [16]. Pada masing-masing data dapat dilihat nilai kapasitas adsorpsi paling besar pada percobaan yang melibatkan 6M HCL dan lama waktu esktraksi selama 8 jam pada Tabel 5.

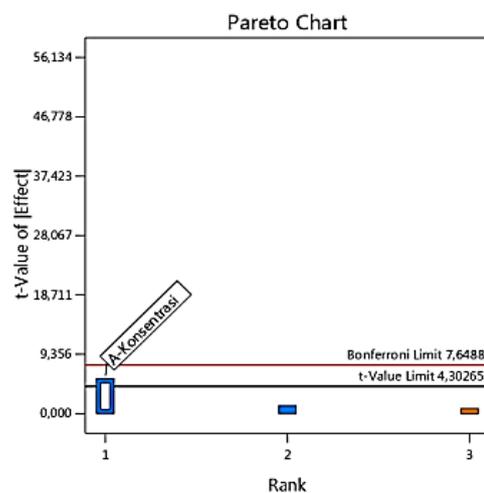
Tabel 5. Hasil Analisis *Software* DX Terhadap Kapasitas Adsorpsi Dan Estimasi Ukuran Kristal IIPs-Fe³⁺

No	Respon	Intercept	A	B
1	Kapasitas Adsorpsi	1,65112	0,165875	-
	%Kontribusi		99,8951	-
2	Ukuran Kristal	1,62998	-0,3929	-
	%Kontribusi		93,7933	-

Selanjutnya, hasil analisis *software* DX memperoleh model matematika besar kapasitas adsorpsi $Y = 1,65112 + 0,165875A$ dan model matematika pada ukuran kristal sebesar $Y = 1,62998 - 0,392975A$. Kemudian, hasil analisis *software* DX dalam menentukan formulasi optimum direpresentasikan pada grafik pareto chart yang menggambarkan hubungan konsentrasi HCL dan lama waktu ekstraksi terhadap besar nilai kapasitas adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 3.



A)



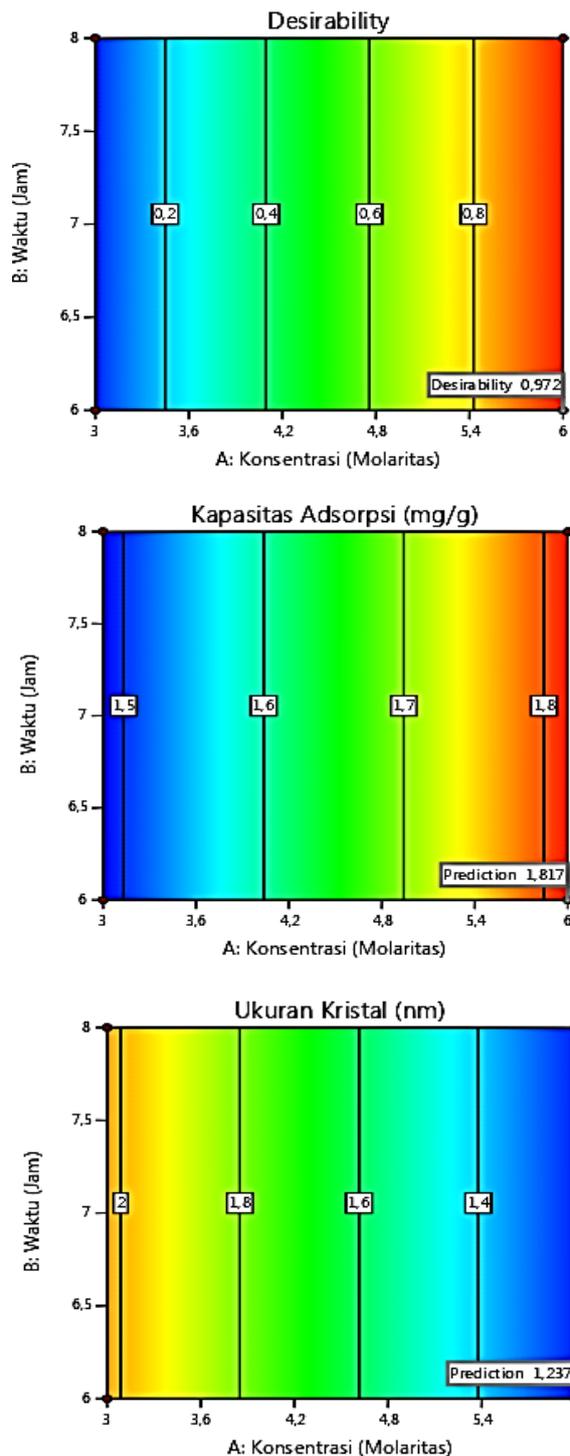
B)

Gambar 3. A) Hubungan Kapasitas Adsorpsi Terhadap Konsentrasi HCL dan Waktu ekstraksi B) Hubungan Ukuran Kristal Terhadap Konsentrasi HCL dan Waktu Ekstraksi

Hasil representasi grafik pareto menampilkan perbedaan yang signifikan antara faktor ekstraksi larutan HCL dan lama waktu ekstraksi pada polimer IIPs bercetakan ion Fe³⁺. Pada grafik pareto chart menunjukkan penggunaan konsentrasi HCL memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap proses ekstraksi polimer Fe (III)[17]. Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya konsentrasi HCL pada 6 M mampu menghasilkan rongga pada polimer bercetakan yang nantinya dapat menyerap lebih banyak analit [18]. Namun, waktu ekstraksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi. Dimana faktor waktu ekstraksi memberikan kontribusi yang sangat rendah daripada faktor konsentrasi larutan HCL. Hal ini didasarkan pada keberagaman dan tingkat keberagaman waktu ekstraksi yang dilakukan masih cukup rendah [19]. Pada penelitian sebelumnya menuliskan bahwa waktu kontak proses adsorpsi memiliki kontribusi dalam menentukan besar kapasitas adsorpsi yang optimal pada material adsorben [20]. Sehingga, pada penelitian ini lama waktu ekstraksi tidak memberikan kontribusi yang lebih baik dari faktor ekstraksi konsentrasi HCL. Formulasi optimum berdasarkan analisis software DX terhadap optimasi ekstraksi polimer Fe(III) terhadap kapasitas adsorpsi IIPs-Fe³⁺ dapat dilihat pada Gambar 4. Pada proses ekstraksi polimer IIPs-Fe³⁺ diketahui konsentrasi HCL memberikan kontribusi paling dominan dan menghasilkan prediksi kapasitas adsorpsi dan ukuran kristal sebesar 1,871 mg/g dan 1,237 nm dengan percobaan optimum melibatkan HCL 6 M dan waktu ekstraksi selama 8 jam.

4 KESIMPULAN

Hasil optimasi sintesis polimer bercetakan Fe (III) yang dilakukan dengan menggunakan desain faktorial menghasilkan nilai kapasitas adsorpsi paling besar pada eksperimen dengan faktor ekstraksi HCL 6 M dan lama waktu ekstraksi 8 jam sebanyak 1,3245 mg/g. Pada penelitian ini juga dihasilkan model matematika besar nilai kapasitas adsorpsi $Y = 1,65112 + 0,165875$ dan secara bersamaan penelitian ini menghasilkan model matematika ukuran kristal polimer IIPs-Fe³⁺ Sebesar $Y = 1,62998 - 0,392975A$. Semakin besar nilai konsentrasi HCL pada proses ekstraksi mempengaruhi peningkatan kapasitas adsorpsi dan penurunan ukuran kristal material IIPs-Fe³⁺.



Gambar 4. Formula Optimum Optimasi Ekstraksi Polimer Fe(III) Terhadap Kapasitas Adsorpsi IIPs-Fe³⁺

REFERENSI

[1] J. Briffa, E. Sinagra, and R. Blundell, "Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans," *Heliyon*, vol. 6, no. 9, p. e04691, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04691.

- [2] S. A. Alrumman, A. F. El-kott, and S. M. A. S. Keshk, "Water Pollution : Source and Treatment Water Pollution : Source & Treatment," *Am J Env. Eng.*, vol. 6, no. June, pp. 88–98, 2016, doi: 10.5923/j.ajee.20160603.02.
- [3] A. S. H. Makhlof and G. A. M. Ali, *Waste Recycling Technologies for Nanomaterials Manufacturing*. 2021.
- [4] H. N. Mohsen, Y. K. Al-Bayati, and R. R. Jalil, "Iron Ionic Imprinted Polymers Iips for Separation and Preconcentration of Iron from Crude and Fuel Oil," *J. Pet. Res. Stud.*, vol. 12, no. 2, pp. 27–46, 2022, doi: 10.52716/jprs.v12i2.656.
- [5] N. Ishak, T. Chin Xin, A. Mohamed Nasir, and S. Siew Hoong, "Optimization of Different Parameter in Synthesis Ion Imprinted Polymers via Precipitation Polymerization for Nitrate Adsorption," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 864, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/864/1/012184.
- [6] S. Shina, *Three-Level Factorial Design and Analysis Techniques*. 2022.
- [7] E. L. Juliana, "Studi Pembuatan Ion Imprinted Polymer untuk Penyerapan Fosfat secara Selektif menggunakan Kitosan Termodifikasi," 2013.
- [8] M. Frentrup *et al.*, "X-ray diffraction analysis of cubic zincblende III-nitrides," 2017.
- [9] S. S. Lins *et al.*, "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," *Microchem. J.*, vol. 150, no. July, p. 104075, 2019, doi: 10.1016/j.microc.2019.104075.
- [10] S. Fatimah, R. Ragadhita, D. F. Al Husaeni, and A. B. D. Nandiyanto, "How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method," *ASEAN J. Sci. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 65–76, 2022, doi: 10.17509/ajse.v2i1.37647.
- [11] S. Husain, M. Irfansyah, N. H. Haryanti, S. Suryajaya, S. Arjo, and A. Maddu, "Synthesis and characterization of Fe₃O₄ magnetic nanoparticles from iron ore," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1242, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1242/1/012021.
- [12] A. B. D. Nandiyanto, R. Ragadhita, and M. Fiandini, "Interpretation of Fourier Transform Infrared Spectra (FTIR): A Practical Approach in the Polymer/Plastic Thermal Decomposition," *Indones. J. Sci. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 113–126, 2023, doi: 10.17509/ijost.v8i1.53297.
- [13] N. B. T. Tran, N. B. Duong, and N. L. Le, "Synthesis and Characterization of Magnetic Fe₃O₄/Zeolite NaA Nanocomposite for the Adsorption Removal of Methylene Blue Potential in Wastewater Treatment," *J. Chem.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/6678588.
- [14] P. A. Y. Sari, E. Koriyanti, A. A. Bama, Jorena, and I. Royani, "Sintesis dan analisis polimer berbasis Moleccularly Imprinted Polymer (MIP) nano melamin (C₃H₆N₆) sebagai material sensor," *J. Penelit. Sains*, vol. 21, no. 3, pp. 163–167, 2019.
- [15] B. Langenberg, J. L. Helm, and A. Mayer, "Repeated Measures ANOVA with Latent Variables to Analyze Interindividual Differences in Contrasts," *Multivariate Behav. Res.*, vol. 57, no. 1, pp. 2–19, 2022, doi: 10.1080/00273171.2020.1803038.
- [16] M. Farmasetika and A. Review, "Design-expert Software s ebagai Alat Optimasi Formulasi Sediaan Farmasi," vol. 6, no. 1, pp. 99–120, 2021.
- [17] Novianty *et al.*, "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," *Sci. Technol. Indones.*, vol. 8, no. 3, pp. 361–366, 2023, doi: 10.26554/sti.2023.8.3.361-366.
- [18] Z. Rismiarti, Y. Yuniati, and R. Alfanaar, "Penerapan Metode Sonikasi terhadap Adsorpsi Fe(III) pada Zeolit Alam Teraktivasi," *Alchemy*, vol. 5, no. 2, p. 63, 2016, doi: 10.18860/al.v5i2.3673.
- [19] R. J. Fauziah and P. Taba, "SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF MOLECULARLY IMPRINTED POLYMERS USING METHYL METHACRYLATE AND ETHYLENE GLYCOL DIMETACRILATE AS ADSORBENT DI-(2-ETILHEKSIL) PHTHALATE," *Indones. J. Pure an*, vol. 5, no. 3, pp. 105–120, 2022.
- [20] S. Kristianingrum, S. Sulistyani, A. Fillaeli, E. Dwi Siswani, and N. Hasna Nafiisah, "Aplikasi Sistem Kontinyu Menggunakan Karbon Aktif untuk Penurunan Kadar Logam Cu dan Zn dalam Air Limbah," *J. Sains Dasar*, vol. 9, no. 2, pp. 54–59, 2020, doi: 10.21831/jsd.v9i2.38965.