

**Artikel Review : Polimer Tercetak Ion untuk Pemisahan Logam Tanah Jarang  
(Sintesis dan Karakterisasi)**

**Review Article: Ion Imprinted Polymers for Separation of Rare Earth Metals  
(Synthesis and Characterization)**

**Syelena Prima Putri, Uji Pratomo, Retna Putri Fauzia, Husein Hernadi Bahti,  
Santhy Wyantuti\***

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran,  
Kabupaten Sumedang, Indonesia, 45363

\*Email Korespondensi: [santhy.wyantuti@unpad.ac.id](mailto:santhy.wyantuti@unpad.ac.id)

**Abstrak**

Logam tanah jarang (LTJ) merupakan prospek potensial yang banyak diaplikasikan pada teknologi tinggi seperti handphone, hard disk komputer, sel surya, mobil listrik, komponen perangkat alat musik, pembuatan pesawat luar angkasa industri pertahanan. Penggunaan LTJ mengandalkan sifat kimia, katalitik, listrik, magnet, dan optiknya. Selain itu, sifat kimia dan fisika yang mirip pada logam tanah jarang membuat pemisahannya sangat sulit dan rumit, maka diperlukan metode pemisahan alternatif yang tepat serta selektif untuk mendapatkan logam tanah jarang yang murni. Salah satu metode pemisahan yang digunakan adalah ekstraksi fase padat menggunakan adsorben polimer tercetak ion (IIP). IIP memiliki kemampuan mengadsorpsi dengan selektivitas tinggi karena menyimpan *memory effect* dari ion template yang dicuci. Dalam artikel review ini, akan dipaparkan gambaran umum mengenai berbagai sintesis IIP untuk pemisahan LTJ. Artikel ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian mengenai sintesis IIP terutama untuk LTJ.

**Kata Kunci:** Polimer Tercetak Ion, Logam Tanah Jarang (LTJ) dan Sintesis IIP

**Abstract**

Rare earth metals (LTJ) are potential prospects that are widely applied in high technology such as cellphones, computer hard disks, solar cells, electric cars, musical instrument components, spacecraft manufacturing, defense industry. The use of REEs relies on their chemical, catalytic, electrical, magnetic and optical properties. In addition, the similar chemical and physical properties of rare earth metals make their separation very difficult and complicated, so appropriate and selective alternative separation methods are needed to obtain pure rare earth metals. One of the separation methods used

is solid phase extraction using ion-imprinted polymer (IIP) adsorbents. IIP has the ability to adsorb with high selectivity because it stores the memory effect of the washed template ions. In this review article, an overview of various IIP syntheses for REE separation will be presented. It is hoped that this article can be a reference for research on IIP synthesis, especially for REEs.

**Keywords:** Ion Imprinted Polymer, Rare Earth Metals (REEs), and IIP Synthesis

---

**Diterima:** 17 Februari 2024

**Disetujui:** 31 Oktober 2024

---

**DOI:** <https://doi.org/10.25026/jsk.v6i5.2324>



Copyright (c) 2024, Jurnal Sains dan Kesehatan (J. Sains Kes.).  
Published by Faculty of Pharmacy, University of Mulawarman, Samarinda, Indonesia.  
This is an Open Access article under the CC-BY-NC License.

### Cara Sitasi:

Putri, S. P., Pratomo, U., Fauzia, R. P., Bahti, H. H., Wyantuti, S., 2024. Artikel Review : Polimer Tercetak Ion untuk Pemisahan Logam Tanah Jarang (Sintesis dan Karakterisasi). *J. Sains Kes.*, 6(5). 808-819.  
**DOI:** <https://doi.org/10.25026/jsk.v6i5.2324>

## 1 Pendahuluan

Logam tanah jarang (LTJ) disebut sebagai “vitamin industri modern” karena logam tanah jarang ini termasuk bahan penting dan fungsional yang tidak dapat digantikan [1]. Saat ini logam tanah jarang (LTJ) banyak dikembangkan di bidang medis seperti Gadolinium sebagai bahan agen pengontras pada MRI [2] [3] [4], Sesium dikembangkan dalam penggunaan *sensing* elektrokimia serta biosensor elektrokimia dan digunakan juga sebagai sistem penghantar obat, antioksidan dan deteksi berbagai penyakit [5] [6] [7], Samarium untuk pengobatan kanker dengan radioisotop [8] [9] [10], Lantanum dalam bentuk hidroksida berperan sebagai pengikat fosfat baru yang menunda perkembangan gagal ginjal [11] [12], Neodimium sebagai magnet dalam perangkat medis seperti perangkat pencitraan resonansi magnetik untuk mendiagnosis sindrom nyeri kronis, radang sendi, penyembuhan luka, insomnia, sakit kepala dan beberapa penyakit lainnya [13]. Dengan banyaknya pemanfaatan LTJ pada bidang medis, hal ini dapat berdampak buruk

juga bagi lingkungan karena limbah medis menjadi mengandung LTJ yang berbahaya. Sehingga sebelum limbah dibuang ke perairan sebaiknya dilakukan pemisahan LTJ terlebih dahulu karena LTJ bersifat *toxic* jika terkena atau dikonsumsi oleh makhluk hidup.

Pemisahan LTJ telah dilakukan dengan berbagai cara seperti penukar ion [14], ekstraksi pelarut [15], pengendapan [16] dan lain-lain. Namun metode-metode pemisahan tersebut memiliki kelemahan yaitu membutuhkan banyak pelarut, efisiensi energi rendah dan selektivitas yang rendah [17]. Metode lainnya yaitu ekstraksi fase padat dengan adsorpsi. Metode adsorpsi merupakan metode yang sederhana, efisiensi tinggi, ketersediaan dan variasi adsorben, biaya rendah dan penerapan yang luas [18]. Salah satu adsorben yang dapat digunakan untuk pemisahan LTJ dan memberikan hasil dengan selektivitas tinggi adalah polimer tercetak ion (IIP).

IIP dapat menciptakan selektivitas melalui ikatan rongga pada permukaan adsorben [19]. Sifat unik dari IIP, seperti banyaknya situs

pengikatan yang ada pada mereka, porositas dan luas permukaannya yang besar, perilaku selektif, ketahanan dan stabilitas mekanis, termal atau kimiawi yang baik [20] membuat IIP dapat diaplikasikan dalam berbagai macam analisis seperti prakonsentrasi, pemisahan dan pemurnian karena selektivitasnya yang tinggi. Hal itu disebabkan karena adanya *memory effect* dari suatu polimer terhadap interaksi ion logam dengan ligan spesifik, geometri koordinat, bilangan koordinasi, muatan dan juga ukuran ion logam [21]. Oleh karena itu, IIP dipilih untuk pemisahan LTJ karena selektivitasnya yang tinggi. Dalam artikel ulasan ini, dibahas berbagai metode sintesis yang dapat digunakan dengan menggunakan komponen yang berbeda dan menghasilkan kemampuan adsorpsi terhadap ion LTJ yang beragam.

## 2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam pembuatan artikel review ini adalah studi literatur. Pustaka yang digunakan merupakan artikel yang dimuat dalam jurnal nasional dan

internasional yang diterbitkan 10 tahun terakhir, dengan tema *ion imprinted polymer* berbasis logam tanah jarang. Pencarian pustaka dilakukan melalui database seperti Google Scholar, ScienceDirect dan database lainnya, dengan menggunakan kata kunci “Sintesis *Ion Imprinted Polymer*”, “*Gadolinium Ion imprinted Polymer*”, “*Cerium Ion Imprinted Polymer*”, “*Samarium Ion Imprinted Polymer*”, “*Neodimium Ion Imprinted Polymer*” dan “*Lantanum Ion Imprinted Polymer*”. Setelah penelusuran pustaka, dilakukan pengumpulan data dan penelaahan data, lalu dilakukan pembahasan dengan memperoleh data dari jurnal pendukung.

## 3 Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengumpulan data terbitan dari beberapa Jurnal Nasional dan Internasional secara online melalui mesin pencarian artikel. Kemudian dilakukan penelaahan data dan disajikan dalam bentuk tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman Sintesis dan Kinerja Adsorpsi dari Polimer Tercetak Ion untuk Pemisahan Logam Tanah Jarang.

No	LTJ	Komponen	Crosslinker	Metode	Kapasitas Adsorpsi	pH	Ref
1	La	kitosan dan polivinil-pirolidon	Glutaraldehid	Polimerisasi massa	39,34 mg/g	4	[1]
2	La	Schiff/ Azobenzena dan 4-VP	EGDMA	Schiff = FRP Azo = polimerisasi termal	La-IIP-Schiff = 25,0 mg/g; La-IIP-Azo = 24,3 mg/g	6	[22]
3	La	Kitosan	Glutaraldehid	Polimerisasi massa	500 mg/g	4	[23]
4	Ce	kitosan dan polivinil-pirolidon	Glutaraldehid	Polimerisasi massal	38,24 mg/g	4	[1]
5	Ce	Schiff/ Azobenzena dan 4-VP	EGDMA	Schiff = FRP Azo = polimerisasi termal	Ce-IIP-Schiff = 24,5 mg/g; Ce-IIP-Azo = 24,7 mg/g	6	[22]
6	Ce	Amidoksim	EGDMA	FRP	145 mg/g	6	[24]
7	Ce	Kitosan-TSCS	Glutaraldehid	Polimerisasi massal	164±1 mg/g	6	[25]
8	Gd	MMA, ARS	EGDMA	FRP	123 mmol/g	6	[18]
9	Gd	Kitosan	Glutaraldehid	Sol-Gel	71 mg/g	7	[26]
10	Gd	Kitosan, asam para-aminobenzoat	Glutaraldehid	Polimerisasi evaporasi Sederhana	58,70 mg/g	7	[27]
11	Gd	Schiff dan 4-VP	EGDMA	FRP	129,1 mg/g	6	[28]
12	Sm	AA, 4-VP dan MMA	EGDMA	Polimerisasi presipitasi	14,91 mg/g	4	[29]
13	Sm	Schiff dan 4-VP	EGDMA	FRP	127,6 mg/g	6	[28]
14	Sm	kitosan dan polivinil-pirolidon	glutaraldehid	Polimerisasi massal	40,51 mg/g	4	[1]
15	Nd	AAA dan NIPAM	EGDMA	FRP	25,96 mg/g	3	[30]
16	Nd	MMA	EGDMA	FRP	9 mg/g (60 mmol/g)	6,5	[31]

### 3.1 Prinsip dan Komponen Dasar Sintesis IIP

Prinsip pencetakan ion didasarkan pada penambahan ion logam yang berfungsi sebagai cetakan ke dalam campuran reaksi polimer. Ion logam tersebut diekstrak dari matriks polimer

yang telah terbentuk sehingga menciptakan sisi aktif yang khas terhadap ion cetakan itu sendiri [32]. IIP dibentuk dari ion template, monomer, crosslinker, inisiator dan pelarut parogen. Pemilihan komponen dalam sintesis IIP sangat penting karena dapat mempengaruhi

selektivitas dan kapasitas pengikatan serta sifat fisik dan kimia dari IIP.

Ion template dan ligan dipilih yang sesuai agar dapat meningkatkan selektivitas IIPs. Ion template dipilih berdasarkan sifat kimia dan fisiknya. Persyaratan untuk memilih template adalah harus inert, stabil pada suhu polimerisasi dan memiliki pengaruh kuat pada polimerisasi [33].

Monomer fungsional pada IIP harus mempunyai gugus fungsi yang dapat berikatan dengan analit. Pada tahap pra polimerisasi gugus fungsional pada monomer dan molekul cetakan saling berinteraksi membentuk polimer cetakan [33]. Monomer fungsional yang umum digunakan adalah asam metakrilat [34], stirena [35], 4-vinilpiridin [36] dan lain-lain.

Pengikat silang berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik material serta kemampuan pengenalan ionik, membantu morfologi material dan menyesuaikan rasio monomer-crosslinker yang mempengaruhi porositas material [33]. Pengikat silang yang biasa digunakan untuk polimerisasi radikal bebas adalah etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) [37], divinilbenzena (DVB) [38], atau trimetilolpropana trimetakrilat (TRIM) [39].

Inisiator berperan dalam membentuk radikal monomer yang mendorong terbentuknya polimer [40]. Pemilihan inisiator bergantung pada stabilitas ion template dan interaksi elektrostatis dengan monomer, terutama untuk pembentukan kompleks. Jika inisiator diaktifkan secara termal, stabilitas termal template juga diperlukan. Jika monomer membentuk kompleks dengan ion template melalui pembentukan ikatan hidrogen, maka tidak tepat menggunakan metode termal. Namun, inisiator yang diaktifkan secara fotokimia lebih dapat diandalkan untuk menggunakan templat dengan stabilitas rendah dan interaksinya. Konsentrasi inisiator berhubungan langsung dengan pembentukan radikal dalam sistem, yang meningkatkan ukuran partikel IIP [41].

### 3.2 Metode-Metode Polimerisasi untuk Sintesis IIP

Dalam sintesis IIP, proses polimerisasi dapat dilakukan menggunakan beberapa metode polimerisasi. Polimerisasi radikal bebas (FRP) merupakan metode sederhana yang banyak digunakan. Polimerisasi radikal bebas

(FRP) terdiri beberapa teknik seperti polimerisasi massa [1], polimerisasi presipitasi [29], polimerisasi larutan [42], polimerisasi emulsi [43] dan polimerisasi teknik adisi-fragmentasi reversibel (RAFT) [44]. Selain metode polimerisasi radikal bebas (FRP), metode polimerisasi kondensasi juga umum digunakan dalam sintesis IIP. Polimer kondensasi merupakan polimer yang terbentuk dari monomer fungsional dengan reaksi kondensasi dengan melepaskan beberapa molekul sederhana seperti air. Teknik polimerisasi *co-condensation* dan polimerisasi sol-gel [26] termasuk ke dalam metode polimerisasi kondensasi. Metode polimerisasi yang dapat digunakan untuk sintesis IIP adalah polimerisasi termal [22]. Polimerisasi termal merupakan polimerisasi yang dilakukan pada tekanan tinggi dan tidak membutuhkan inisiator radikal bebas dalam prosesnya.

### 3.3 Kapasitas Adsorpsi IIP

Kapasitas adsorpsi IIP merujuk pada kemampuan IIP untuk menyerap atau menangkap ion target secara selektif dari suatu analit. Kinerja adsorpsi IIP dapat dipelajari dengan *non-imprinted polymer* (NIP) yang disintesis dengan prosedur sama tetapi tidak menggunakan ion template. Terdapat dua persamaan dalam perhitungan kapasitas adsorpsi yaitu persentase serapan (% r) dan kapasitas serapan (Q). Persentase serapan (% r) dapat dihitung dengan persamaan 1 dan kapasitas serapan (Q) dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$\% \text{removal} = 100 \times \frac{C_0 - C_e}{C_0} \quad (\text{Persamaan 1})$$

dimana  $C_0$  (mg/L) adalah konsentrasi awal adsorbat dan  $C_e$  (mg/L) adalah konsentrasi kesetimbangan setelah adsorpsi.

$$Q_e = V \times \frac{C_0 - C_e}{m} \quad (\text{Persamaan 2})$$

dimana  $V$  (L) adalah volume larutan adsorbat dan  $m$  (g) adalah massa dari adsorben yang digunakan.

Untuk menghitung konsentrasi suatu larutan dapat menggunakan teknik elektrokimia seperti voltametri. Metode voltametri adalah teknik analisis elektrokimia

yang didasarkan pada pengukuran arus listrik sebagai fungsi pengukuran potensial listrik pada sel elektrolisis [45]. Wyantuti dkk. [46] menghitung konsentrasi suatu analit dengan menggunakan metode voltametri pulsa diferensial dengan elektroda kerja platina (Pt), elektroda pembantu kawat platina dan elektroda pembanding Ag/AgCl. Dimana untuk menghitung adsorpsi, pertama dilakukan pengujian konsentrasi awal untuk larutan yang mengandung ion gadolinium dengan pengaturan DPV seperti berikut ini: kondisi dengan rentang potensial, potensi pengendapan, waktu pengendapan, modulasi amplitudo, dan pemindaian laju  $-1,0$  hingga  $+1,0$  V,  $-1,0$  V,  $60,0$  detik,  $0,05$  V, dan  $0,05$  V/detik. Kemudian setelah larutan tersebut dimasukkan IIP, diaduk dan disentrifugasi. Dipisahkan analit dan endapannya. Pada analit akan dilakukan lagi konsentrasi larutannya dengan menggunakan pengaturan DPV yang sama. Kemudian dihitung kapasitas adsorpsinya dan didapatkan hasil kapasitas adsorpsi dari IIP hasil sintesis.

### 3.4 Pengaruh pH terhadap Adsorpsi IIP

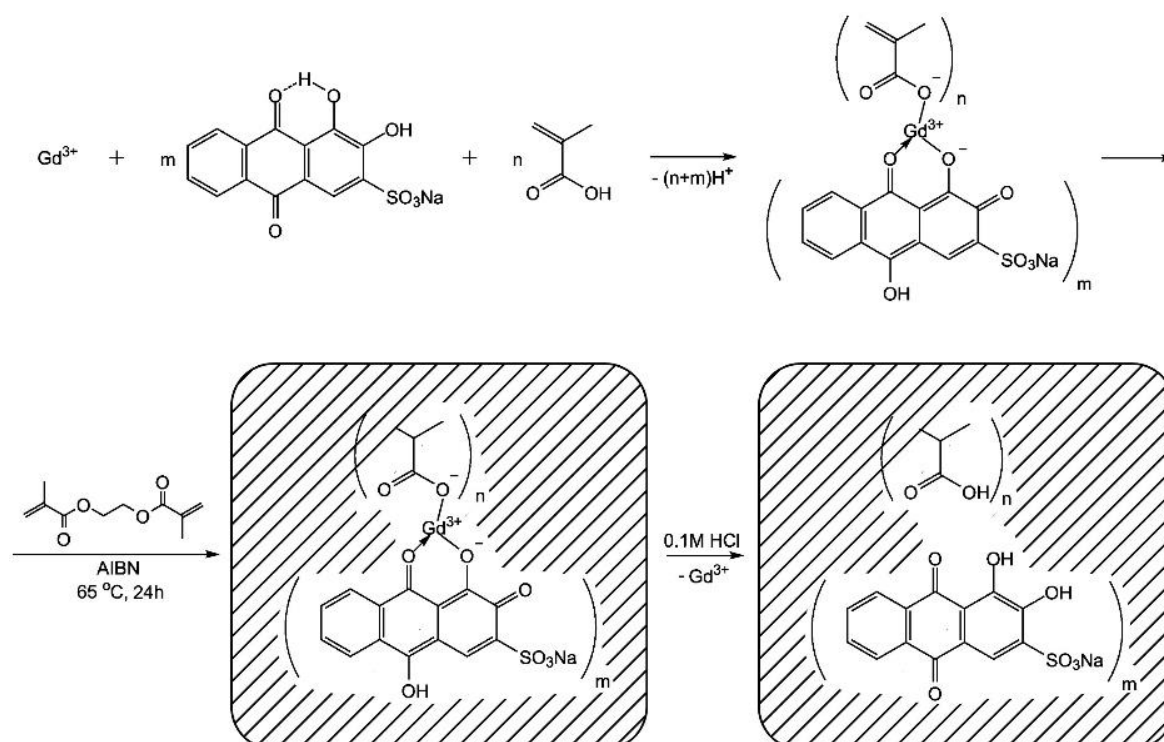
pH dapat mempengaruhi konsentrasi ion  $H^+$  dalam suatu larutan, dimana pH yang lebih

tinggi dapat mendukung pembentukan kompleks. Pengujian pH dilakukan pada setiap adsorben hasil sintesis, pengaturan pH biasanya dilakukan dengan menggunakan NaOH dan HCl [18].

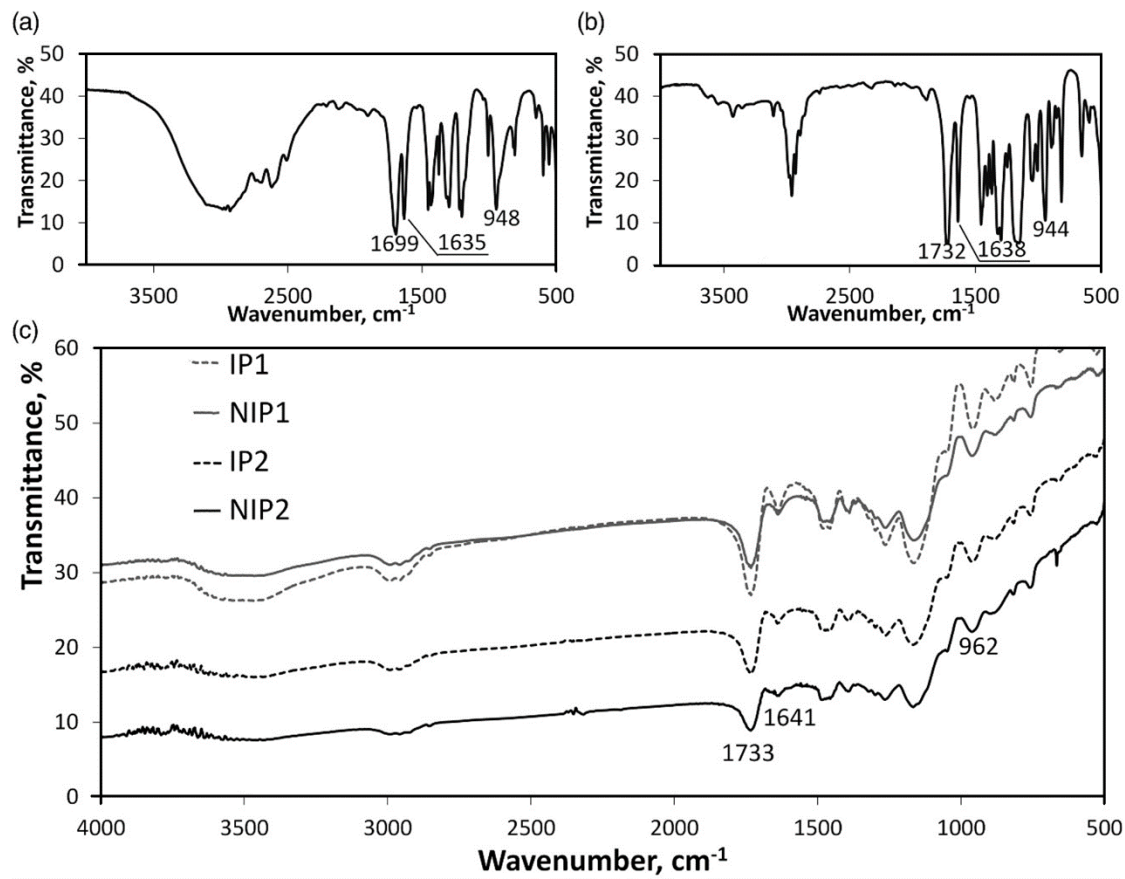
## 3.5 Penerapan IIP untuk Pemisahan Logam Tanah Jarang

### 3.5.1 Gadolinium

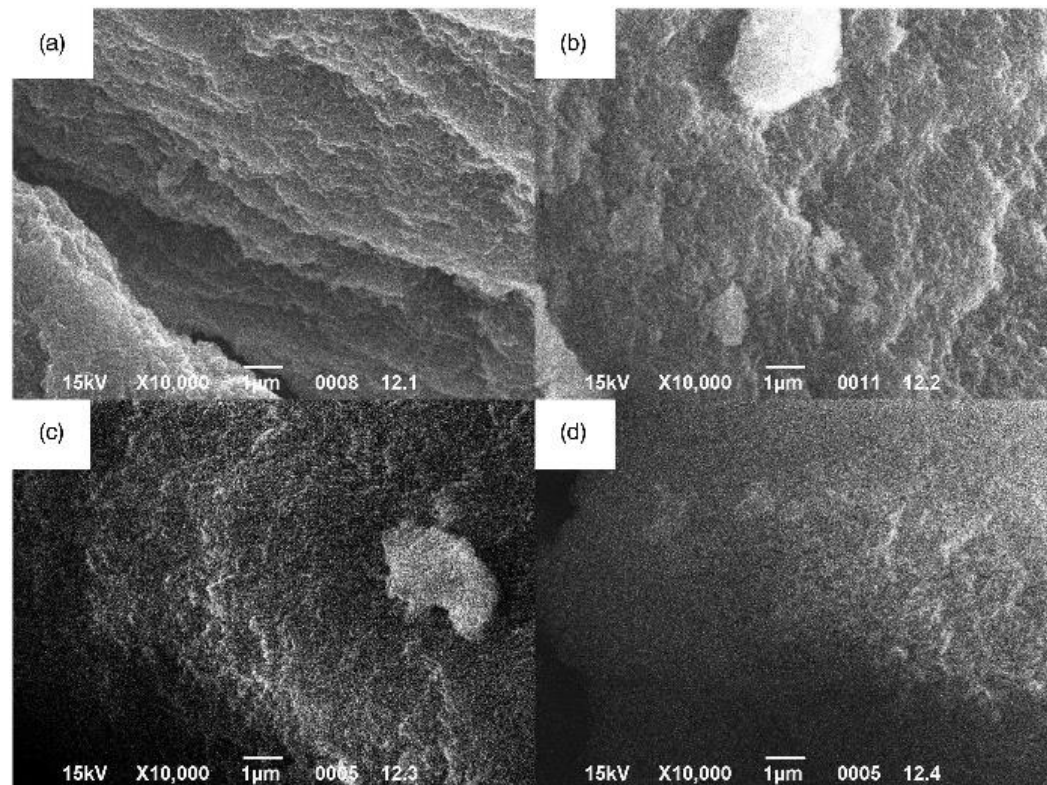
Gadolinium merupakan salah satu unsur tanah jarang yang sangat penting dalam berbagai industri terutama di bidang kesehatan. Gadolinium banyak dimanfaatkan sebagai agen pengontras MRI, bahan tambahan komponen optis dan elektronik, neomagnet, dan lain-lain [47]. Gadolinium memiliki keadaan oksidasi paling umum yaitu  $+3$  dengan jari-jari ionik dari kation trivalen sebesar  $0,9 \text{ \AA}$  [48]. Bunina dkk. [18] membuat IIP berdasarkan kopolimer EGDMA dan MMA untuk ekstraksi unsur tanah jarang dari larutan berair. Polimer disintesis menggunakan metode polimerisasi radikal bebas (FRP). Proses sintesis IIP digambarkan secara skematis pada Gambar 1.



Gambar 1. Sintesis polimer tercetak ion gadolinium [18].



Gambar 2. Spektrum FTIR (a) asam metakrilat, (b) etilena glikol dimetakrilat, (c) polimer yang disintesis [18].



Gambar 3. Mikrograf SEM (a) IIP 1, (b) NIP 1, (c) IIP 2, dan (d) NIP 2 [18].

IIP yang disintesis oleh Bunina dkk. [18] dapat mengadsorpsi ion target pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi maksimum yaitu 123 mmol/g. IIP kemudian dianalisis dengan FTIR, dan didapatkan spektrum FTIR seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Berdasarkan spektrum FTIR pada Gambar 2, spektrum menunjukkan pola yang hampir identik. Pita serapan yang kuat sesuai dengan peregangan C-C ( $1635\text{ cm}^{-1}$ ) dan tekukan luar bidang C-H pada ikatan rangkap ( $948\text{ cm}^{-1}$ ) terdapat dalam spektrum IR MMA (Gambar 2 a). Puncak serupa ( $1638$  dan  $944\text{ cm}^{-1}$ ) ditemukan dalam spektrum IR EGDMA (Gambar 2 b). Pita serapan yang sesuai pada  $1641$  dan  $962\text{ cm}^{-1}$  diamati untuk polimer tetapi dengan intensitas yang sangat rendah (Gambar 2 c). Ini menunjukkan konversi monomer yang tinggi dan memastikan polimerisasi yang berhasil.

Morfologi permukaan dari IIP hasil sintesis juga dianalisis dengan SEM. Hasil analisis SEM ditunjukkan oleh Gambar 3, terlihat tidak ada perbedaan struktural yang signifikan antara keempat bahan yang disintesis.

Zheng, dkk. [26] membuat film kitosan nanofiber tercetak ion menggunakan pemisahan fase termal suhu rendah untuk adsorpsi ion  $\text{Gd}^{3+}$  yang selektif dan efisien. IIP hasil sintesis dapat mengadsorpsi ion target secara maksimum pada pH 7 dengan kapasitas adsorpsi maksimum  $71\text{ mg/g}$ . Liu, dkk. [27] membuat film berpori berbasis kitosan yang dicetak ion dengan struktur jaringan interpenetrasi untuk adsorpsi Gd (III) yang selektif dan efisien. IIP hasil sintesis yang dilakukan oleh Liu, dkk [27] dapat mengadsorpsi ion target pada pH 7 dengan kapasitas adsorpsi maksimumnya  $58,70\text{ mg/g}$ . Yusoff, dkk. pada tahun 2017 [28] membuat polimer tercetak ion untuk pengenalan selektif dan pemisahan logam tanah jarang, salah satunya dengan menggunakan ion  $\text{Gd}^{3+}$  sebagai ion template untuk mengadsorpsi ion gadolinium pada larutan berair. IIP hasil sintesis yang dilakukan oleh Yusoff, dkk. [28] dapat

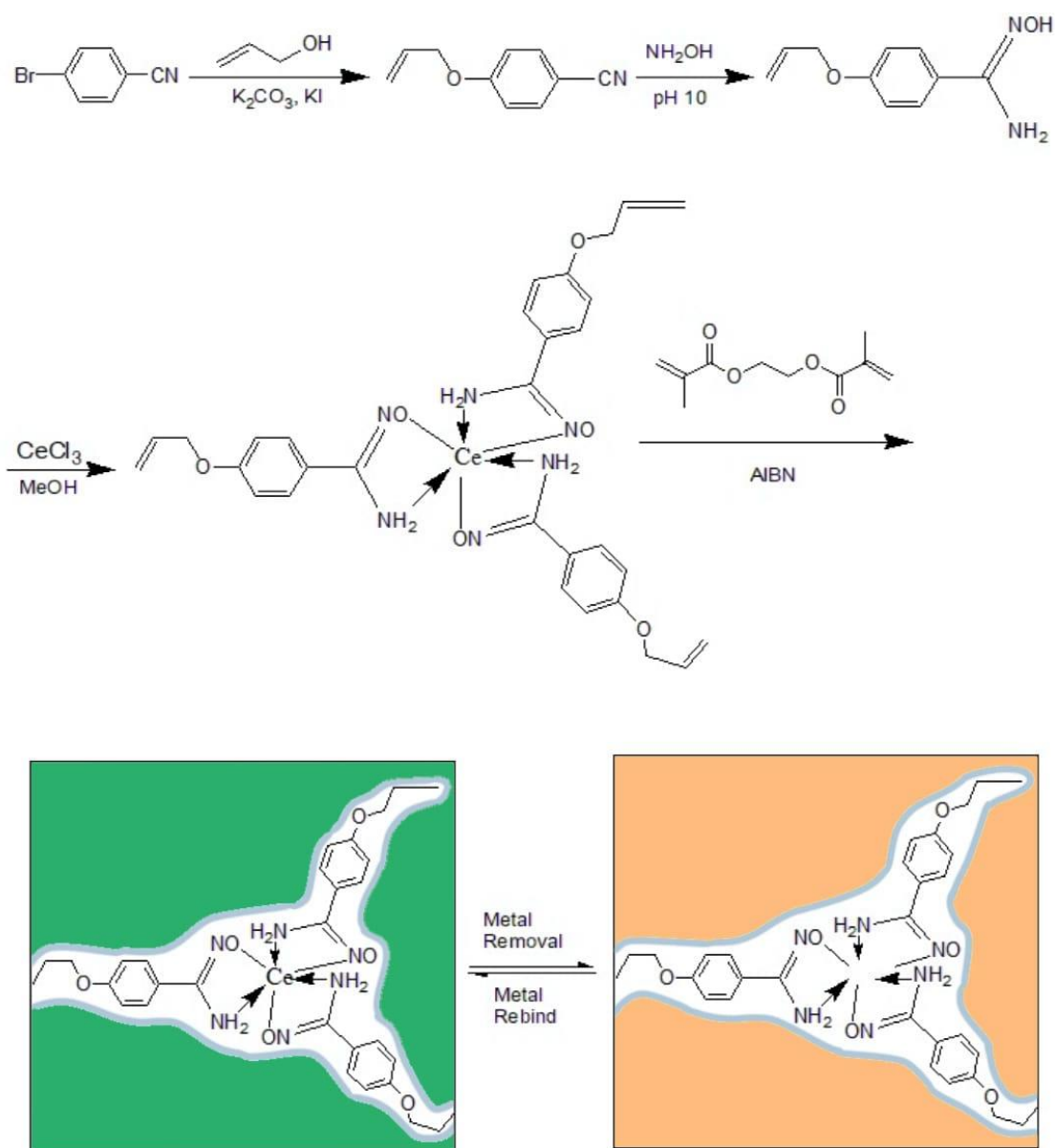
mengadsorpsi ion target pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi maksimumnya  $129,1\text{ mg/g}$ .

### 3.5.2 Serium

Serium merupakan salah satu unsur tanah jarang yang biasa ditemukan dalam bentuk bilangan oksidasi +3 dan +4. Serium banyak digunakan untuk katalis, petroleum refining sel surya dan lain-lain [47]. Ali, dkk [1] menyintesis IIP berdasarkan kitosan menggunakan metode polimerisasi massa. Polimer hasil sintesis menunjukkan kemampuan adsorpsi maksimum pada pH 4 yaitu  $38,24\text{ mg/g}$ . Nikmustapa, dkk [22] membuat polimer tercetak ion untuk pengenalan selektif dan pemisahan ion  $\text{Ce}^{3+}$ . IIP disintesis menggunakan 2 macam ligan yaitu azobenzena dan schiff. IIP hasil sintesis dengan menggunakan ligan schiff dan azobenzena dapat mengadsorpsi ion target secara maksimum pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi masing-masing adalah  $24,5\text{ mg/g}$  dan  $24,7\text{ mg/g}$ .

Rahman, dkk. [24] menyintesis IIP menggunakan amidoksim dan EGDMA menggunakan metode polimerisasi radikal bebas (FRP) dengan langkah-langkah berikut : (a) pembuatan 4-(aliloksi)Benzonitril; (b) pembuatan 4-(aliloksi)-N-Hidroksibenzamidin; (c) pembentukan kompleks serium dengan ligan amidoksim; dan (d) pembentukan polimer tercetak ion  $\text{Ce}^{3+}$  dengan crosslinker EGDMA. Polimer dapat mengadsorpsi secara maksimal pada pH 6. Proses sintesis IIP digambarkan secara skematis pada Gambar 4.

Rahman, dkk. [24] telah melakukan karakterisasi secara FTIR dan dihasilkan spektrum ligan amidoksim dan Ce-IIP. Pada spektrum Ce-IIPs terdapat pita serapan luas pada  $3440\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan pita peregangan O-H yaitu bergeser dari  $3401\text{ cm}^{-1}$  karena ikatan koordinasi dengan ion serium. Pada  $1635\text{ cm}^{-1}$  pada amidoksim bergeser menjadi  $1651\text{ cm}^{-1}$  pada Ce-IIP karena koordinasi dengan ion serium. Pergeseran pita ini menunjukkan bahwa Ce-IIP berhasil disintesis.



Gambar 4. Sintesis polimer tercetak ion serium dengan ligan amidoksim. Skema sintesis dibuat ulang [24].

Rahman, dkk. [24] juga telah melakukan karakterisasi secara FE-SEM untuk melihat morfologi permukaan dari ligan amidoksim, Ce-IIP tidak tercuci dan Ce-IIP yang tercuci. Pada ligan amidoksim terdapat beberapa aglomerasi permukaan kristal. Permukaan morfologi Ce-IIP menunjukkan bentuk bola yang tidak mulus dengan ukuran bervariasi karena senyawa tersebut bersifat polimer secara struktural dan untuk Ce-IIP yang tercuci menunjukkan morfologi yang sangat mirip dengan Ce-IIP tidak tercuci.

Aljohani, dkk. [25] membuat IIP dengan modifikasi tiosalisilat/ion tercetak polimer

kitosan untuk menghilangkan ion  $Ce^{3+}$  secara selektif. Polimer disintesis dengan menggunakan metode polimerisasi massa. IIP hasil sintesis dapat mengadsorpsi ion target secara maksimal pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi maksimumnya  $164 \pm 1$  mg/g.

### 3.5.3 Lantanum

Lanthanum (La) merupakan salah satu unsur golongan lantanida yang termasuk kelompok tanah jarang ringan. Saat ini lantanum banyak dibutuhkan oleh berbagai industri dan dimanfaatkan untuk katalis, keramik, kaca dan baterai [22] [47]. Lanthanum

biasa ditemukan dalam bentuk bilangan oksidasi +3 namun ada beberapa senyawa yang memiliki bilangan oksidasi +2. Ali, dkk. [1] menyintesis IIP berdasarkan kitosan menggunakan teknik polimerisasi massa. dengan langkah-langkah berikut : (a) menyiapkan larutan kitosan dengan menambahkan 2% asam asetat; (b) pembentukan kompleks dengan mencampurkan larutan kitosan, larutan PVP dan ion  $\text{La}^{3+}$ ; (c) proses polimerisasi dengan penambahan crosslinker glutraldhyde. Setelah polimer terbentuk, ion template di cuci asam tartarat untuk menghasilkan rongga dan meninggalkan *memory effect* dari ion template agar selektivitas terhadap ion target tinggi. IIP yang dihasilkan diberi label La(III)-CS/PVP. Berdasarkan kemampuan adsorpsinya La(III)IP-CS/PVP menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum pada pH 4 yaitu 39,34 mg/g.

Nikmustapa, dkk. [22] membuat polimer tercetak ion untuk pengenalan selektif dan pemisahan ion  $\text{La}^{3+}$ . IIP disintesis menggunakan 2 macam ligan yaitu azobenzena dan schiff. IIP hasil sintesis dengan menggunakan ligan schiff dan azobenzena dapat mengadsorpsi ion target secara maksimum pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi masing-masing adalah 25,0 mg/g dan 24,3 mg/g. Ibrahim, dkk. pada tahun 2021 [23] membuat IIP dengan komposit kitosan-lignin untuk pemulihan ion  $\text{La}^{3+}$  dari larutan. Sintesis IIP dibuat dengan polimer kitosan dan crosslinker glutaraldehid didapatkan kapasitas adsorpsi maksimum pada pH 4 yaitu 500 mg/g.

### 3.5.4 Samarium

Samarium sebagai unsur langka yang selama beberapa dekade terakhir banyak diminati karena penerapannya yang luas di berbagai bidang seperti industri nuklir (sebagai penyerap neutron), industri kimia (sebagai reagen dalam sintesis organik), radiofarmasi (target produksi), pembuatan magnet dan lain-lain [29] [47]. Masoumi, dkk. [29] membuat polimer tercetak ion  $\text{Sm}^{3+}$  yang berukuran nano. Sintesis partikel IIP dilakukan dalam dua langkah, yaitu (a) pembentukan kompleks prapolimer dan (b) pembuatan campuran prapolimerisasi dengan monomer fungsional dan ikatan silang. IIP hasil sintesis dapat mengadsorpsi ion target pada pH 4 dengan

kapasitas adsorpsi maksimum yaitu 14,91 mg/g.

Yusoff, dkk. [28] membuat polimer tercetak ion untuk pengenalan selektif dan pemisahan logam tanah jarang, salah satunya dengan menggunakan ion  $\text{Sm}^{3+}$  sebagai ion template untuk mengadsorpsi ion  $\text{Sm}^{3+}$  pada larutan berair. IIP hasil sintesis yang dilakukan oleh Yusoff, dkk. pada tahun 2017 [28] dapat mengadsorpsi ion target pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi maksimumnya 127,6 mg/g.

Ali, dkk. [1] menyintesis IIP berdasarkan kitosan menggunakan metode polimerisasi massal dengan langkah-langkah berikut : (a) menyiapkan larutan kitosan dengan menambahkan 2% asam asetat; (b) pembentukan kompleks dengan mencampurkan larutan kitosan, larutan PVP dan ion  $\text{Sm}^{3+}$ ; (c) proses polimerisasi dengan penambahan crosslinker glutraldhyde. Polimer hasil sintesis menunjukkan kemampuan adsorpsi maksimum pada pH 4 dengan kapasitas adsorpsi maksimumnya 40,51 mg/g.

### 3.5.5 Neodimium

Neodimium (Nd) merupakan unsur logam tanah jarang yang memiliki kegunaan yang sangat luas dalam berbagai industri, seperti untuk bahan baku magnet, superkonduktor, optik, katalis dan lain-lain [47] [49]. Neodimium banyak ditemukan dalam bentuk bilangan oksidasi +2, +3 dan +4. Li, dkk. [30] menyintesis polimer tercetak ion neodimium untuk menghilangkan  $\text{Nd}^{3+}$  dengan kapasitas adsorpsi dan selektivitas yang tinggi dari larutan berair. Polimer hasil sintesis dapat mengadsorpsi ion  $\text{Nd}^{3+}$  secara maksimal pada pH 3 dengan kapasitas adsorpsi maksimumnya sebesar 25,96 mg/g.

Li, dkk. [30] telah melakukan karakterisasi secara SEM, hasilnya menunjukkan morfologi permukaan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ , Nd(III)-V/MIIP. Nanosfer  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang dibuat dengan metode polimerisasi termal pelarut memiliki diameter seragam (400 nm) dan permukaan kasar. Pada tahap kedua, diameter  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$  jauh lebih besar dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan permukaannya tidak lagi kasar. Bahan Nd(III)-V/MIIP menunjukkan peningkatan diameter yang signifikan dan cangkang tipis yang tercetak di permukaan, membentuk struktur cangkang inti [50].

Moussa, dkk. [31] membuat polimer tercetak ion neodimium untuk ekstraksi fase

padat secara selektif dari air keran dan air sungai. IIP disintesis menggunakan metode polimerisasi radikal bebas (FRP) dan dapat mengadsorpsi ion  $\text{Nd}^{3+}$  secara maksimal pada pH 6,5 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 9 mg/g (60 mmol/g).

#### 4 Kesimpulan

Ulasan ini membahas terkait dengan penerapan polimer tercetak ion (IIP) untuk pemisahan logam tanah jarang (LTJ) terutama untuk La, Ce, Gd, Sm dan Nd. IIP sendiri merupakan adsorben alternatif dalam pemisahan LTJ dengan selektivitas yang tinggi. Berbagai metode polimerisasi digunakan dalam sintesis IIP namun untuk sintesis IIP berbasis LTJ biasanya menggunakan metode polimerisasi radikal bebas karena memerlukan inisiator untuk pembentukan radikal. Dari penelitian-penelitian yang telah dibahas, IIP akan selektif mengadsorpsi ion target sesuai dengan ion template yang digunakan karena terdapat *memory effect* dari ion template yang tercuci. Dengan penggunaan IIP untuk pemisahan LTJ didapatkan hasil yang cukup baik, sehingga ion LTJ hasil pemisahan dapat digunakan untuk berbagai industri.

#### 5 Pernyataan

##### 5.1 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dana dari Program *Academic Leaderships Grant* (ALG) Universitas Padjadjaran dan Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat melalui Riset Kompetensi Dosen Unpad (DRPM-RKDU) Universitas Padjadjaran yang telah memberikan dana penelitian dengan nomor kontrak 1549/UN6.3.1/PT.00/2023.

##### 5.2 Penyanggah Dana

Penelitian mendapatkan dukungan dana dari Universitas Padjadjaran.

##### 5.3 Kontribusi Penulis

Semua penulis berkontribusi dalam penulisan artikel ini.

##### 5.4 Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan yang terjadi.

#### 6 Daftar Pustaka

- [1] Ali, I. M., Zakaria, E. S., Khalil, M., El-Tantawy, A., & El-Saied, F. A. 2022. Synthesis of ion-imprinted polymers based on chitosan for high selectivity of La (III), Ce (III) and Sm (III) via solid phase extraction. *Journal of Molecular Liquids*, 356, 119058.
- [2] Budiman, S., Bahti, H. H., Mutalib, A. dan Anggraeni, A. 2018. Pemisahan Gadolinium Sebagai Contrast Agent pada MRI (Magnetic Resonance Imaging) dengan Ligan Asam di-(2-etilheksil)fosfat (D2EHFA) dan tributilfosfat (TBP) secara Ekstraksi Cair-Cair dengan Pelarut Organik -Kerosin. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1 (9).
- [3] Iyad, N., Ahmad, M. S., Alkhatib, S. G., & Hjouj, M. 2023. Gadolinium contrast agents-challenges and opportunities of a multidisciplinary approach: Literature review. *European Journal of Radiology Open*, 11, 100503.
- [4] Cao, Y., Xu, L., Kuang, Y., Xiong, D., & Pei, R. 2017. Gadolinium-based nanoscale MRI contrast agents for tumor imaging. *Journal of Materials Chemistry B*, 5(19), 3431-3461.
- [5] Puteri, J., Anggraeni, A., Hardianto, A. dan Bahti, H. H. 2023. Oksidasi Serium Berdasarkan Agen Pengoksidasi. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 5 (3).
- [6] Wang, Q., Wang, B., Shi, D., Li, F., & Ling, D. 2023. Cerium Oxide Nanoparticles-Based Optical Biosensors for Biomedical Applications. *Advanced Sensor Research*, 2(3), 2200065.
- [7] Charbgo, F., Ramezani, M., & Darroudi, M. 2017. Bio-sensing applications of cerium oxide nanoparticles: advantages and disadvantages. *Biosensors and Bioelectronics*, 96, 33-43.
- [8] Poedjomartono, B. 2009. Bone Pain Palliative Therapy: The Role of Samarium (Sm)-153 in Bone Metastatic Tumor. *Indonesian Journal of Cancer*, 3(2).
- [9] Vermeulen, K., Van de Voorde, M., Segers, C., Coolkens, A., Rodriguez Pérez, S., Daems, N., & Ooms, M. 2022. Exploring the Potential of High-Molar-Activity Samarium-153 for Targeted Radionuclide Therapy with  $^{153}\text{Sm}$ -DOTA-TATE. *Pharmaceutics*, 14(12), 2566.
- [10] Nabeel, A. I. 2020. Samarium enriches antitumor activity of ZnO nanoparticles via downregulation of CXCR4 receptor and cytochrome P450. *Tumor Biology*, 42(3), 1010428320909999.
- [11] Zhao, L., Wang, S., Liu, H., Dua, X., Bu, R., Li, B., Han, R., Gao, J., Liu, Y., Hao, J., Zhao, J., Meng, Y. dan Li, Gi. 2021. The Pharmacological Effect and Mechanism of Lanthanum Hydroxide on Vascular Calcification Caused by Chronic Renal Failure Hyperphosphatemia. *Front. Cell Dev. Biol.*, vol. 9

- [12] Sholihah, I., Santoso, J., & Rahardjoputro, R. 2023. Gambaran Penggunaan Pengikat Fosfat pada Pasien Penyakit Ginjal Kronik dengan Hemodialisis. *INPHARNMED Journal (Indonesian Pharmacy and Natural Medicine Journal)*, 6(2), 91-97.
- [13] Yuksel, C., Ankarali, S. dan Yuksel, N. A. 2018. The use of neodymium magnets in healthcare and their effects on health. *North. Clin. Istanbul*, 5 (3)
- [14] Strelow, F. W. E., & Victor, A. H. 1990. Separation of yttrium and neodymium from samarium and the heavier lanthanides by cation-exchange chromatography with hydroxyethylenediaminetriacetate in monochloroacetate buffer. *Talanta*, 37(12), 1155-1161.
- [15] Torkaman, R., Moosavian, M. A., Torab-Mostaedi, M., & Safdari, J. 2013. Solvent extraction of samarium from aqueous nitrate solution by Cyanex301 and D2EHPA. *Hydrometallurgy*, 137, 101-107.
- [16] Khalil, M., Madbouly, H. A., Elgoud, E. A., & Ali, I. M. 2022. Removal of Ce (IV) and Nd (III) from acidic solution using polyacrylonitrile-encapsulated lithium titanium vanadate as an efficient adsorbent. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 32(4), 1370-1380.
- [17] Balaram, V. 2019. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geoscience Frontiers*, 10(4), 1285-1303.
- [18] Bunina, Z. Y., Bryleva, K., Yurchenko, O., & Belikov, K. 2017. Sorption materials based on ethylene glycol dimethacrylate and methacrylic acid copolymers for rare earth elements extraction from aqueous solutions. *Adsorption Science & Technology*, 35(5-6), 545-559.
- [19] Izzataddini, A., Nurani, D. A., Utami, D., Cahyana, A. H. and Sumardi. 2019. Preparasi dan karakterisasi ion imprinted polymer untuk pemisahan selektif logam Cr(III) dalam air = Preparation and characterization of an ion imprinted polymer for selective separation of Cr(III) ions from water. *Skripsi Universitas Indonesia*
- [20] Luo, F., Huang, S., Xiong, X. dan Lai, X. 2015. Synthesis and characterization of Hg(ii)-ion-imprinted polymer and its application for the determination of mercury in water samples. *RSC Adv.*, 5, 67365.
- [21] Rammika, M. 2010. an ion imprinted polymers for the determination of Ni (II) ions from mine tailing sample a thesis. Rhodes University.
- [22] Nik Mustapa, N. R., Malek, N. F. A., Yusoff, M. M., & Rahman, M. L. 2016. Ion imprinted polymers for selective recognition and separation of lanthanum and cerium ions from other lanthanide. *Separation Science and Technology*, 51(17), 2762-2771.
- [23] Ibrahim, S., Kamal, N. S. S., Hanafiah, M. A. K. M., Ariff, N. F. M., & Saleh, S. H. 2021. Chitosan-Lignin Composite for Recovery of Lanthanum (III) Ions from Aqueous Solutions. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 25(5), 848-857.
- [24] Rahman, M. L., Puah, P. Y., Sarjadi, M. S., Arshad, S. E., Musta, B., & Sarkar, S. M. 2019. Ion-Imprinted Polymer for Selective Separation of Cerium (III) Ions from Rare Earth Mixture. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 19(9), 5796-5802.
- [25] Aljohani, M. S., Alnoman, R. B., Alharbi, H. Y., Bukhari, A. A., & Monier, M. 2023. Development and evaluation of thiosalicylic-modified/ion-imprinted chitosan for selective removal of cerium (III) ion. *Carbohydrate Polymers*, 121620.
- [26] Zheng, X., Zhang, Y., Bian, T., Zhang, Y., Li, A., & Pan, J. 2020. Oxidized carbon materials cooperative construct ionic imprinted cellulose nanocrystals films for efficient adsorption of Dy(III). *Chemical Engineering Journal*, 381, 122669.
- [27] Liu, E., Lin, X., Zhang, D., Xu, W., Shi, J., & Hong, Y. 2021. Preparation of an ion imprinted chitosan-based porous film with an interpenetrating network structure for efficient selective adsorption of Gd (iii). *New Journal of Chemistry*, 45(2), 725-734.
- [28] Yusoff, M. M., Mostapa, N. R. N., Sarkar, M. S., Biswas, T. K., Rahman, M. L., Arshad, S. E. & Kulkarni, A. D. 2017. Synthesis of ion imprinted polymers for selective recognition and separation of rare earth metals. *Journal of Rare Earths*, 35(2), 177-186.
- [29] Masoumi, F., Sarabadani, P., & Khorrami, A. R. 2019. Synthesis, characterization and application of a new nano-structured samarium (III) ion-imprinted polymer. *Polymer Bulletin*, 76, 5499-5516.
- [30] Li, Y., Tian, J., Li, Y., He, H., Deng, X., Li, W. & Hu, G. 2023. Cross-linking copolymerization on magnetic microspheres surface induced neodymium ion imprinting for high capacity and high selectivity removal of Nd<sup>3+</sup> from aqueous solution. *Surfaces and Interfaces*, 43, 103587.
- [31] Moussa, M., Ndiaye, M. M., Pinta, T., Pichon, V., Vercouter, T., & Delaunay, N. 2017. Selective solid phase extraction of lanthanides from tap and river waters with ion imprinted polymers. *Analytica chimica acta*, 963, 44-52.
- [32] Gawin, M., Knefal, J., Trzewik, B., Walas, S., Tobiasz, A., Mroweic, H. dan Eitek, E. 2010. Preparation of a New Cd(II)-Imprinted Polymer

- and Its Application to Determination of Cadmium(II) Via Flow-Injection Flame Atomic Absorption Spectrometry. *Talanta*, 80, pp. 1305-1310
- [33] Kusumkar, V.V., Galambos, M., Viglasova, E., Dano, M. and Smelkova, J. 2021. Ion-imprinted polymers: Synthesis, characterization, and adsorption of radionuclides. *Materials*, 14(5), pp. 1-29.
- [34] Meng, H., Li, Z., Ma, F., Jia, L., Wang, X., Zhou, W. and Zhang, L. 2015. Preparation and Characterization of Surface Imprinted Polymer for Selective Sorption of Uranium (VI). *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 306, 139-146.
- [35] Mafu, L.D., Mamba, B.B. and Msagati, T.A.M. 2016. Synthesis and Characterization of Ion Imprinted Polymeric Adsorbents for the Selective Recognition and Removal of Arsenic and Selenium in Wastewater Samples. *J. Saudi Chem. Soc.*, 20, 594-605.
- [36] Cai, X., Li, J., Zhang, Z., Yang, F., Dong, R. and Chen, L. 2014. Novel Pb<sup>2+</sup> Ion Imprinted Polymers Based on Ionic Interaction via Synergy of Dual Functional Monomers for Selective Solid-Phase Extraction of Pb<sup>2+</sup> in Water Samples. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 6, 305-313
- [37] Rodríguez-Fernández, R., Peña-Vázquez, E. and Bermejo-Barrera, P. 2015. Synthesis of an Imprinted Polymer for the Determination of Methylmercury in Marine Products. *Talanta*, 144, 636-641.
- [38] Jinadasa, K.K., Peña-Vázquez, E., Bermejo-Barrera, P. and Moreda-Piñeiro, A. 2020. Ionic Imprinted Polymer Solid-Phase Extraction for Inorganic Arsenic Selective Pre-Concentration in Fishery Products before High-Performance Liquid Chromatography-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry Speciation. *J. Chromatogr. A*, 1619, 460973.
- [39] Yordanova, T., Dakova, I., Balashev, K. and Karadjova, I. 2014. Polymeric Ion-Imprinted Nanoparticles for Mercury Speciation in Surface Waters. *Microchem. J.*, 113, 42-47.
- [40] Branger, C., Meouche, W., & Margailan, A. 2013. Recent advances on ion-imprinted polymers. *Reactive and Functional Polymers*, 73(6), 859-875.
- [41] Rammika, M., Darko, G. and Torto, N. 2012. Optimal Synthesis of a Ni (II)-Dimethylglyoxime Ion-Imprinted Polymer for the Enrichment of Ni (II) Ions in Water, Soil and Mine Tailing Samples. *Water SA*, 38, 261-268.
- [42] Ji, X. Z., Liu, H. J., Wang, L. L., Sun, Y. K., & Wu, Y. W. 2013. Study on adsorption of Th (IV) using surface modified dibenzoylmethane molecular imprinted polymer. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 295, 265-270.
- [43] Monier, M., Abdel-Latif, D. A., & Youssef, I. 2018. Preparation of ruthenium (III) ion-imprinted beads based on 2-pyridylthiourea modified chitosan. *Journal of colloid and interface science*, 513, 266-278.
- [44] Liu, Y., Meng, X., Luo, M., Meng, M., Ni, L., Qiu, J. & Yan, Y. 2015. Synthesis of hydrophilic surface ion-imprinted polymer based on graphene oxide for removal of strontium from aqueous solution. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(3), 1287-1297.
- [45] Wyantuti, S., Pratomo, U., Hartati, Y. W., Anggraeni, A., & Bahti, H. H. 2018. Fast and simultaneous detection of Sm, Eu, Gd, Tb and Dy using combination of voltammetry method and multivariate analysis. *Res. J. Chem. Environ*, 22, 302-306.
- [46] Wyantuti, S., Pratomo, U., Hartati, Y. W., Shafira, A., Hardianto, A., & Bahti, H. H. 2023. Utilization of Steepest Ascent and Box-Behnken Design for Determination of Gadolinium in Acetonitrile by Differential Pulse Voltammetry. *Indonesian Journal of Chemistry*. 23 (5), 1261 - 1269.
- [47] Nugroho, A., Kriswarini, R., Fatimah, S., & Haryati, I. 2018. PENENTUAN UNSUR-UNSUBI DALAM BIJIH URANIUM MENGGUNAKAN ICP AES PLASMA 40. In SEMINAR NASIONAL XI SDM TEKNOLOGI NUKLIR (pp. 50-60). Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-Badan tenaga Nuklir Nasional Yogyakarta.
- [48] Sherry, A. D., Caravan, P. and Lenkinski, R. E. 2009. A Primer on Gadolinium Chemistry. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI*, 30(6), 1248.
- [49] Handoko, C. R. 2018. Pemanfaatan Low Speed Neodymium Wind Turbine Generator Sebagai Alternatif Sumber Listrik Rumah Kawasan Pesisir. In Seminar MASTER PPNS Vol. 3(1), pp. 139-146.
- [50] Khoshnam, M., & Salimijazi, H. 2021. Synthesis and characterization of magnetic-photocatalytic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano core-shell. *Surfaces and Interfaces*, 26, 101322.