

## Sintesis dan Karakterisasi SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP Sebagai Material Fungsional Penjerap Ion Kadmium (II)

 Indah Puspita Sari <sup>a,\*</sup>, M. Bachri Amran <sup>b</sup>
<sup>a</sup> Institut Teknologi Sumatera, Indonesia

<sup>b</sup> Institut Teknologi Bandung, Indonesia

 \*corresponding author: [indah.sari@km.itera.ac.id](mailto:indah.sari@km.itera.ac.id)

 DOI : [10.20885/ijca.vol4.iss1.art3](https://doi.org/10.20885/ijca.vol4.iss1.art3)

### ARTIKEL INFO

Diterima : 01 Februari 2021  
 Direvisi : 03 Maret 2021  
 Diterbitkan: 07 Maret 2021  
 Kata kunci : *ion imprinted polymer*,  
 silika, kadmium, fungsionalisasi,  
 APTES

### ABSTRAK

Sintesis SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP melalui proses sol-gel melibatkan *3-ammonium propyl triethoxy silane* (APTES) sebagai monomer fungsional, *tetraethylorthosilicate* (TEOS) sebagai *crosslinker*, Cd (II) sebagai cetakan dan SiO<sub>2</sub> sebagai inti. Karakterisasi SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP dilakukan dengan menggunakan FTIR. Hasil karakterisasi dengan FTIR menunjukkan beberapa puncak penting pada bilangan gelombang 2939 cm<sup>-1</sup> dan 1411 cm<sup>-1</sup> yang berasal dari vibrasi gugus C-H serta pada bilangan gelombang 1564 cm<sup>-1</sup> yang berasal dari vibrasi gugus N-H hal tersebut membuktikan bahwa silika gel telah berhasil terfungsionalisasi oleh monomer APTES. Morfologi dan komponen penyusun material SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dianalisis menggunakan SEM dan EDS. Berdasarkan metode *batch* SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP memiliki kapasitas retensi sebesar 7,34 mg/g pada kondisi optimum pH 7 dan waktu kontak 90 menit. Hasil analisis menunjukkan bahwa, model isoterm adsorpsi mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir.

### ARTICLE INFO

Received : 01 February 2021  
 Revised : 03 March 2021  
 Published : 07 March 2021  
 Keyword : *ion imprinted polymer*,  
*silica*, *cadmium*, *functionalization*,  
 APTES

### ABSTRACT

The synthesis of SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP and SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP through a sol-gel process involves *3-ammonium propyl triethoxy silane* (APTES) as a functional monomer, *tetraethylorthosilicate* (TEOS) as a crosslinker, Cd(II) as a template, and SiO<sub>2</sub> as the core. Characterization of SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP and SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP has been carried out using FTIR. The results of characterization by FTIR showed several important peaks at wave numbers 2939 cm<sup>-1</sup> and 1411 cm<sup>-1</sup> originating from the C-H group vibrations and at 1564 cm<sup>-1</sup> wavenumbers originating from the N-H group vibrations, this proves that the silica gel has been successfully functionalized by APTES monomer. The morphology and components of the SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP material were analyzed using SEM and EDS. Based on the batch method SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP has a retention capacity of 7.34 mg/g at optimum conditions of pH 7 and a contact time of 90 minutes. The results of the analysis show that the adsorption isotherm model follows the Langmuir adsorption isotherm model.

## 1. PENDAHULUAN

Kadmium merupakan logam berat beracun yang secara alami terdapat di ekosistem. Keberadaan kadmium di ekosistem semakin meningkat karena adanya aktivitas antropogenik yang dapat mengancam kehidupan hewan dan manusia [1]. Kadmium yang masuk kedalam rantai makanan mampu mengkontaminasi tubuh manusia sehingga dapat menimbulkan penyakit kardiovaskular, ginjal dan kanker [2]. Residual kadmium bisa masuk ke rantai makanan melalui konsumsi sayuran [3] dan ikan yang terkontaminasi [4]. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa konsentrasi kadmium pada air sungai di Indonesia berada pada rentang  $< 3,0 \pm 0,0 - 6,3 \pm 0,3$  ppm [5]. Walaupun konsentrasi kadmium yang di temukan di perairan Indonesia cukup kecil namun kontaminasi logam berat beracun seperti kadmium yang terakumulasi dapat mempengaruhi kesehatan [6]. Teknik pemisahan menggunakan membran, elektrokoagulasi dan presipitasi kimia sering digunakan untuk menghilangkan kadmium dalam air, namun penerapannya dibatasi oleh biaya operasional yang tinggi [7]. Salah satu trend baru di kimia analitik adalah penggunaan polimer bercetakan ion sebagai penjerap untuk logam secara spesifik. (*ion imprinted polymers*) [8]. Polimer bercetakan ion memiliki fungsi yang baik sebagai penjerap spesifik dalam prakonsentrasi kadmium [9] Material ini pun memiliki ketahanan yang baik dan dapat digunakan berulang kali sehingga biaya yang dikeluarkan untuk pembuatannya relatif sedikit [10].

Prinsip pencetakan ion didasarkan pada penambahan ion logam yang berfungsi sebagai cetakan ke dalam campuran reaksi polimer. Kemudian ion logam tersebut diekstrak dari matriks polimer yang telah terbentuk sehingga menciptakan sisi aktif yang khas terhadap ion cetakan itu sendiri [11]. Polimer bercetakan ion dapat berperan sebagai adsorben yang menjanjikan untuk menghilangkan ion logam kadmium [12]. Penelitian sebelumnya telah melaporkan sintesis material polimer bercetakan ion yang disintesis menggunakan 1-merkaptoketana sebagai ligan dan asam metakrilat sebagai monomer fungsional memiliki kapasitas adsorpsi sebesar  $62.9 \text{ mg.g}^{-1}$  terhadap logam kadmium pada sampel air [13]. Penelitian lainnya juga melaporkan selektifitas polimer bercetakan ion kadmium memiliki nilai yang baik walaupun ada logam lain yang berperan sebagai pengganggu [7]. Uji adsorpsi dan desorpsi menunjukkan material polimer bercetakan ion dapat digunakan berulang hingga 8 kali, hal ini menunjukkan bahwa material polimer bercetakan ion memiliki nilai *reuseability* yang baik [14].

Pembentukan polimer bercetakan ion dinilai dapat menghasilkan material dengan selektifitas, kapasitas adsorpsi dan stabilitas termal yang tinggi [15]. Metode yang sensitif, spesifik dan efisien dibutuhkan untuk menghilangkan kadmium dalam air. Atas dasar latar belakang yang telah di paparkan maka penelitian ini dilakukan. Polimer bercetakan ion ber-inti silika ( $\text{SiO}_2\text{@APTES-IIP}$ ) dan polimer tidak bercetakan ion ber-inti silika ( $\text{SiO}_2\text{@APTES-NIP}$ ) disintesis melalui teknik *surface imprinting* dengan proses sol-gel yang dinilai cukup sederhana [16]. 3-*Aminopropyltrimethoxysilane* (APTES) digunakan sebagai monomer fungsional, *tetraethylorthosilicate* (TEOS) sebagai *crosslinker*, ion logam Cd(II) sebagai cetakan dan  $\text{SiO}_2$  sebagai inti telah disintesis dalam pembuatan material  $\text{SiO}_2\text{@APTES-IIP}$ . Dalam penelitian ini telah dilakukan karakterisasi morfologi dan analisis sifat retensi dari  $\text{SiO}_2\text{@APTES-IIP}$  terhadap logam Cd(II).

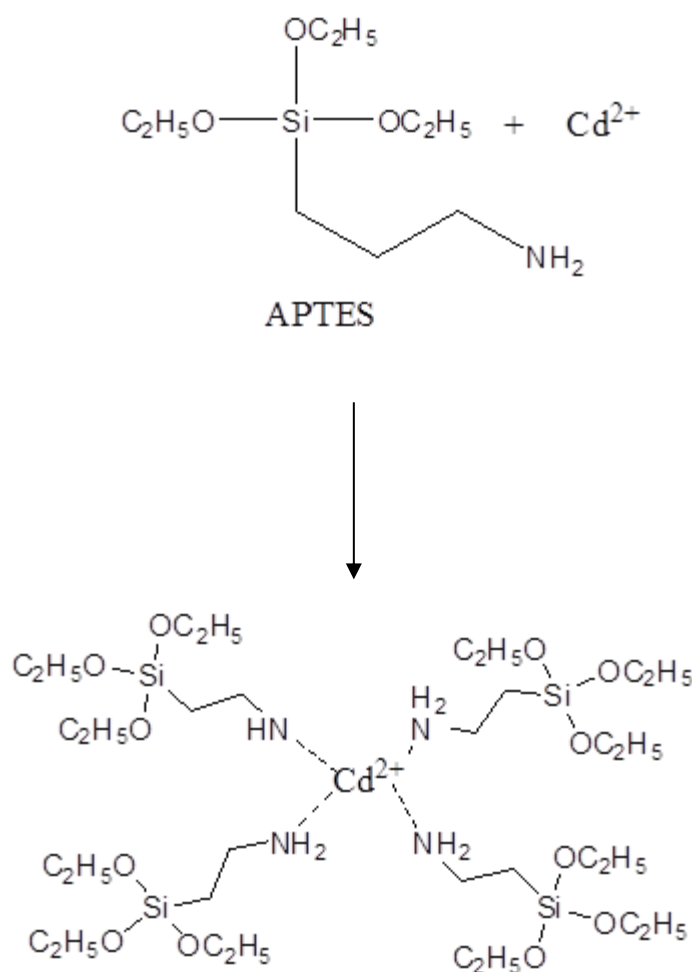
## 2. METODE

### 2.1. Material

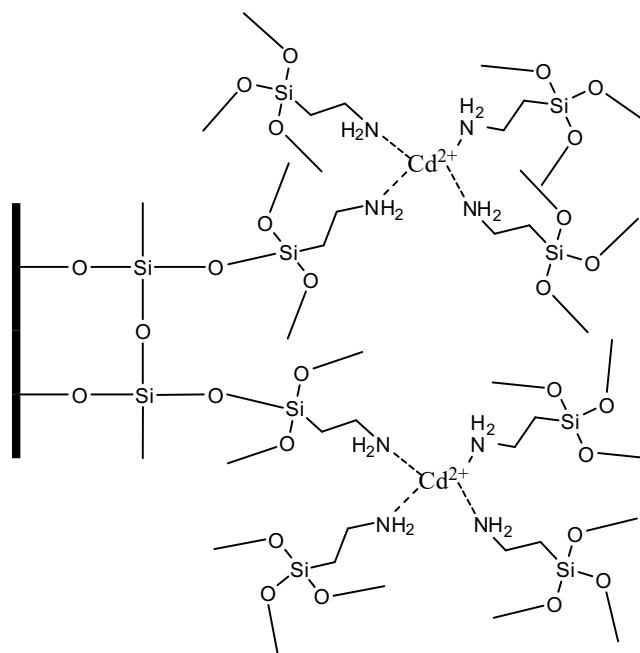
Bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya garam Cd-asetat (Merck), Silika gel untuk kromatografi, TEOS 98% (Merck), APTES 98% (Sigma-Aldrich),  $\text{HNO}_3$  69% (Merck),  $\text{CH}_3\text{COOH}$  96% (Merck), dan bahan-bahan penunjang lainnya seperti aqua DM dan aqua bidestilat.

## 2.2. Sintesis SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dan SiO<sub>2</sub>APTES-NIP

Sintesis SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP melalui proses sol-gel melibatkan 3-*amounium propyl tri ethoxy silane* (APTES) sebagai monomer fungsional, *tetraethylorthosilicate* (TEOS) sebagai cross linker, logam Cd(II) sebagai template dan SiO<sub>2</sub> sebagai inti. Penggunaan APTES sebagai monomer fungsional dalam modifikasi silika gel dinilai cukup sederhana dan efisien [17]. Gambar 1 menunjukkan proses terjadinya prapolimerisasi antara APTES dan ion logam Cd(II). Kompleks yang terbentuk antara APTES dan ion logam Cd(II) kemudian mengalami proses hidrolisis dan kondensasi dengan silika gel teraktivasi, sehingga terjadi proses fungsionalisasi silika gel yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sintesis SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP yang sudah terbentuk dibilas menggunakan etanol kemudian di *leaching* menggunakan HNO<sub>3</sub> 3 M sebanyak 25 mL. Setelah seluruh kadmium terlepas dari SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP material tersebut dibilas hingga netral dengan aquades dan dikeringkan pada suhu 80°C. Analisis FTIR, SEM dan EDS dilakukan terhadap SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP, SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP dan silika gel untuk mengkonfirmasi keberhasilan fungsionalisasi SiO<sub>2</sub>. Pembentukan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP dilakukan dengan metode yang sama tanpa adanya penamabahan ion logam kadmium.



Gambar 1. Proses prapolimerisasi APTES dan ion logam Cd(II)



Gambar 2. Proses modifikasi SiO<sub>2</sub> oleh APTES dan ion logam Cd(II)

### 2.3 Optimasi pH

Optimasi ini dilakukan untuk mengetahui pada pH berapa material SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP memiliki kapasitas retensi maksimum. Proses ini dilakukan dengan cara mengkontakkan 50 mg material SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP dengan 20 mL larutan Cd(II) 25 ppm pada rentang pH 4; 5; 6; 7; 8 selama 24 jam. Hasil kontak di filtrasi lalu di analisis lebih lanjut menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dengan panjang gelombang 228,8 nm.

### 2.4 Optimasi Waktu Kontak

Waktu yang diperlukan agar logam Cd(II) dapat teretensi ke dalam rongga yang disediakan SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP perlu dianalisis. Proses ini dilakukan dengan cara mengkontakkan 50 mg material SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP dengan 20 mL larutan Cd(II) 25 ppm pada kondisi pH terbaik yang didapat dari optimasi sebelumnya dengan rentang waktu waktu 5; 10; 20; 30; 45; 60; 90 dan 120 menit. Hasil kontak di filtrasi lalu di analisis lebih lanjut menggunakan AAS.

### 2.5 Penentuan Kapasitas Retensi Maksimum

Untuk mengetahui kapasitas adsorpsi maksimum, sebanyak 50 mg SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP dikontakkan dengan larutan Cd(II) yang memiliki rentang konsentrasi 5 ppm hingga 200 ppm. Filtrat hasil kontak kemudian dianalisis menggunakan AAS. Kapasitas retensi material SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP dihitung menggunakan persamaan 1.

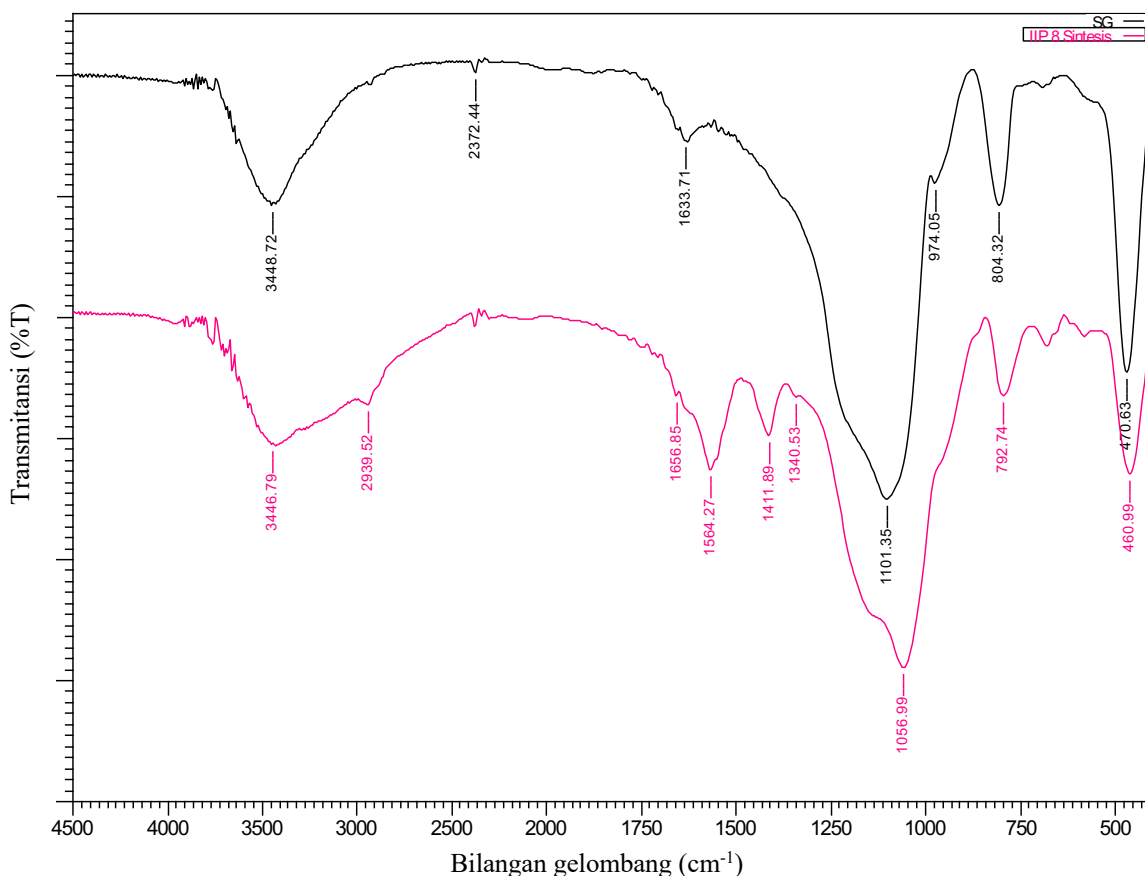
$$Q = \frac{V(C_i - C_s)}{W} \quad (1)$$

Dimana C<sub>i</sub> (ppm) adalah konsentrasi awal larutan ion logam Cd(II), C<sub>s</sub> (ppm) adalah konsentrasi akhir larutan ion logam Cd(II), W (mg) adalah berat SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP dalam miligram dan Q (mg/g) adalah kapasitas retensi material SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

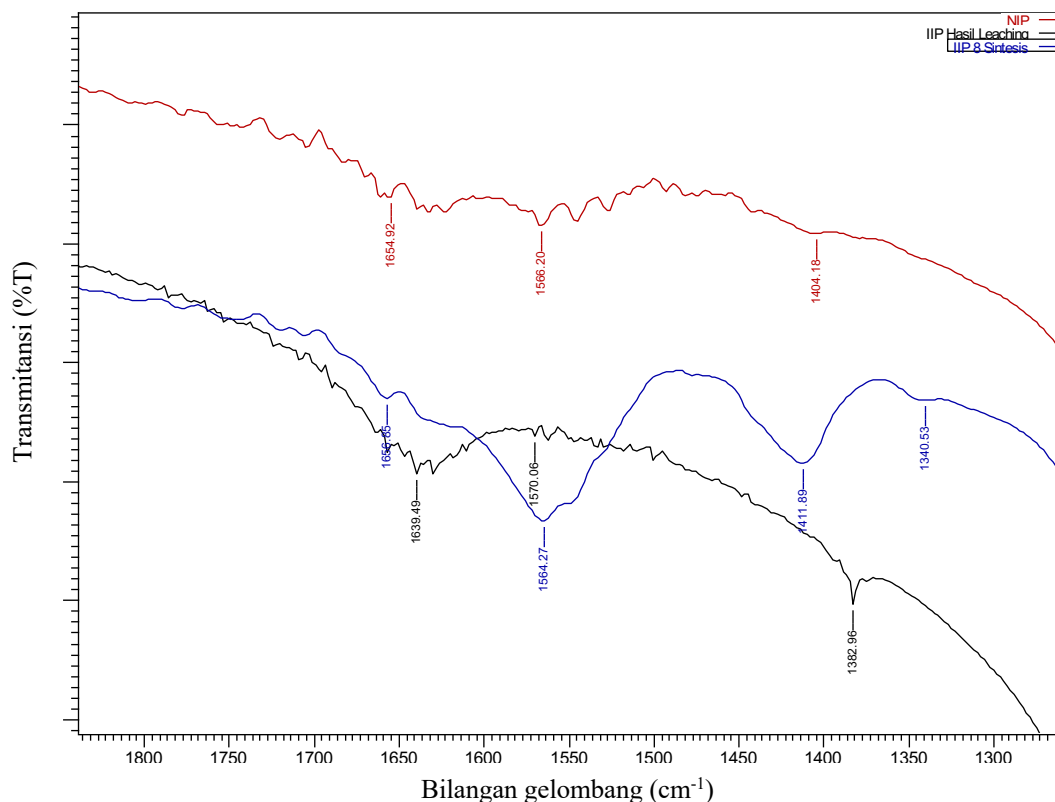
#### 3.1. Analisis FTIR

Analisis gugus fungsi menggunakan *fourier-transform infrared spectroscopy* (FTIR) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi apa saja yang terdapat pada material hasil sintesis. Keberadaan gugus fungsi yang khas dapat mengindikasikan keberhasilan proses fungsionalisasi SiO<sub>2</sub> oleh APTES-IIP.



Gambar 3. Spektrum FTIR silika gel dan SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP hasil sintesis

Spektrum FTIR pada Gambar 3 (warna hitam) menunjukkan adanya sinyal pada bilangan gelombang 3448 cm<sup>-1</sup> dan 1633 cm<sup>-1</sup>, sinyal tersebut menunjukkan adanya vibrasi yang berasal dari gugus hidroksi pada permukaan SiO<sub>2</sub>. Sinyal pada bilangan gelombang 1101 cm<sup>-1</sup> dan 974 cm<sup>-1</sup> berasal dari vibrasi Si-O-Si dan Si-O-H. Sedangkan vibrasi dari Si-O menyebabkan munculnya sinyal pada bilangan gelombang 804 cm<sup>-1</sup> dan 470 cm<sup>-1</sup>. Gambar 3(warna merah) merupakan spektrum SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP. Pada spektrum tersebut terdapat sinyal pada bilangan gelombang 2939 cm<sup>-1</sup> dan 1411 cm<sup>-1</sup> yang berasal dari vibrasi gugus C-H. Vibrasi gugus N-H dari APTES menyebabkan munculnya sinyal pada 1564 cm<sup>-1</sup>. Sinyal pada bilangan gelombang ini tidak muncul pada spektrum SiO<sub>2</sub>. Chrzanowska pada tahun 2015 telah berhasil melakukan fungsionalisasi silika gel [18]. Pada spektrum FTIR material hasil sintesinya ditemukan puncak karakteristik pada 2938 cm<sup>-1</sup> dan 1412 cm<sup>-1</sup> untuk gugus C-H, 1564 cm<sup>-1</sup> untuk gugus N-H. Jika dibandingkan hasil yang spektrum FTIR material yang dikembangkan pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan material hasil sintesis yang telah dilakukan oleh Chrzanowska. Terdapat perbedaan signifikan antara spektrum FTIR silika gel dan material hasil sintesis. Karakteristik spektrum N-H dan C-H menunjukkan proses fungsionalisasi SiO<sub>2</sub> oleh APTES-IIP berhasil dilakukan.



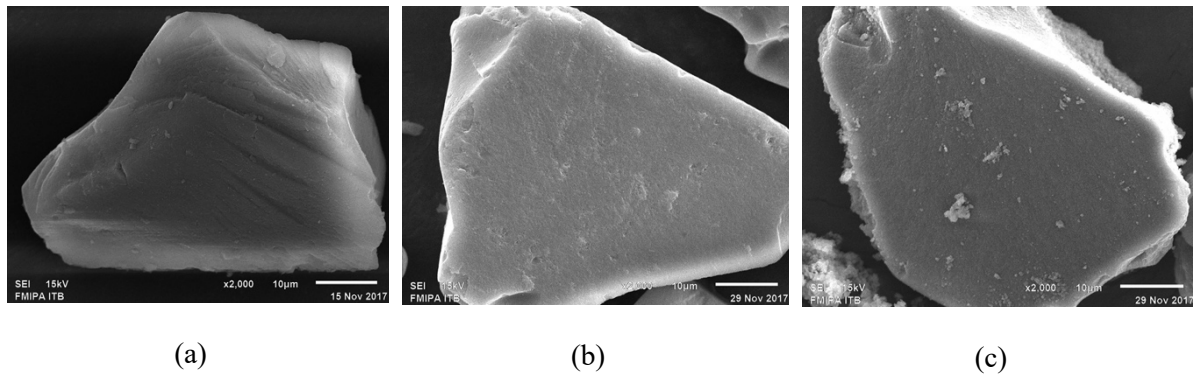
Gambar 4. Spektrum FTIR SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP pasca sintesis (biru), SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP hasil *leaching* (hitam) dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP (merah)

Pada ketiga spektrum yang terdapat pada Gambar 4 bilangan gelombang 1560 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya gugus N-H. Dari hasil perbandingan spektrum FTIR SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP (warna merah) dan SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP setelah *leaching* (warna hitam) pada Gambar 4 tidak terdapat perbedaan puncak yang signifikan. Hal ini menandakan bahwa proses *leaching* telah berhasil dilakukan. Keberhasilan proses *leaching* menandakan bahwa tidak ada lagi logam Cd(II) yang terdapat dalam SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP. Pada spektrum SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP dan SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP pasca sintesis terdapat perbedaan intensitas yang signifikan. Hal ini bisa disebabkan karena adanya logam Cd(II) yang terikat pada gugus -NH yang terdapat pada SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP pasca sintesis sehingga mempengaruhi vibrasinya.

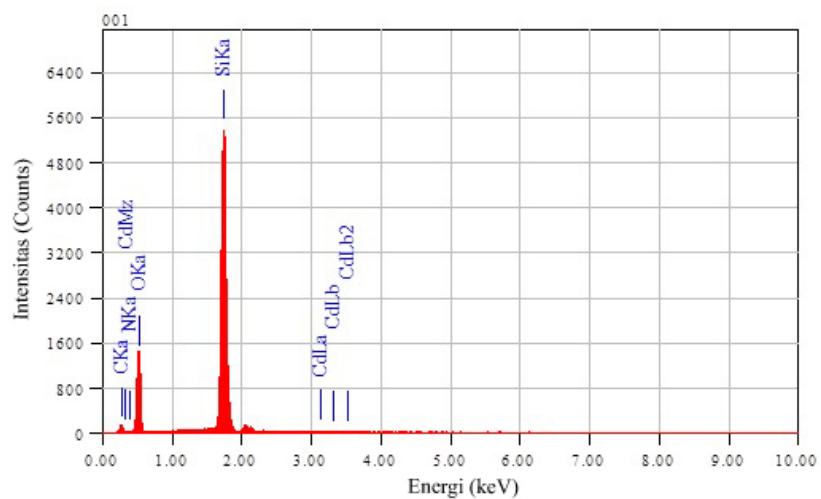
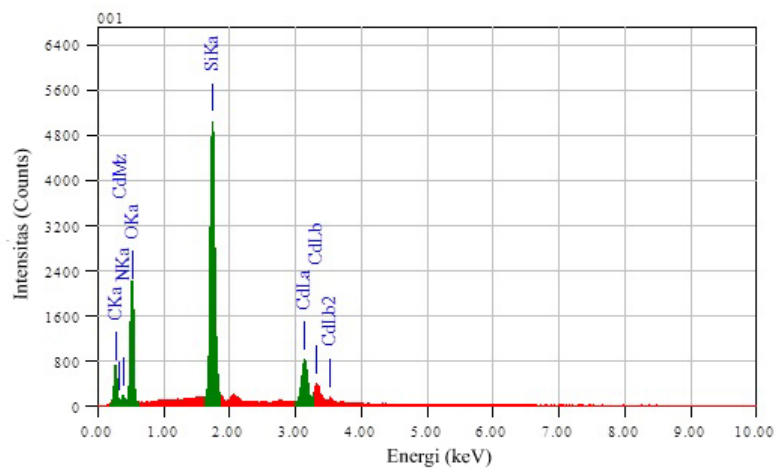
### 3.2 Karakterisasi Morfologi Material

Morfologi permukaan SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP pasca sintesis dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP dikarakterisasi dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Seperti di ditampilkan pada Gambar 5, tidak ada perbedaan signifikan pada permukaan silika gel (5a), SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP (5b) dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP (5c). Namun keberhasilan proses fungsionalisasi diperkuat dengan adanya data EDS pada Gambar 6 yang menunjukkan komposisi SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP sebelum *leaching* (Gambar 6a) dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP (Gambar 6b). Analisis EDS mengkonfirmasi SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP mengandung karbon, nitrogen, oksigen dan silika. Namun pada SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP tidak terdapat logam kadmium. Keberadaan nitrogen, karbon dan kadmium membuktikan fungsionalisasi APTES-IIP pada SiO<sub>2</sub> telah berhasil dilakukan.



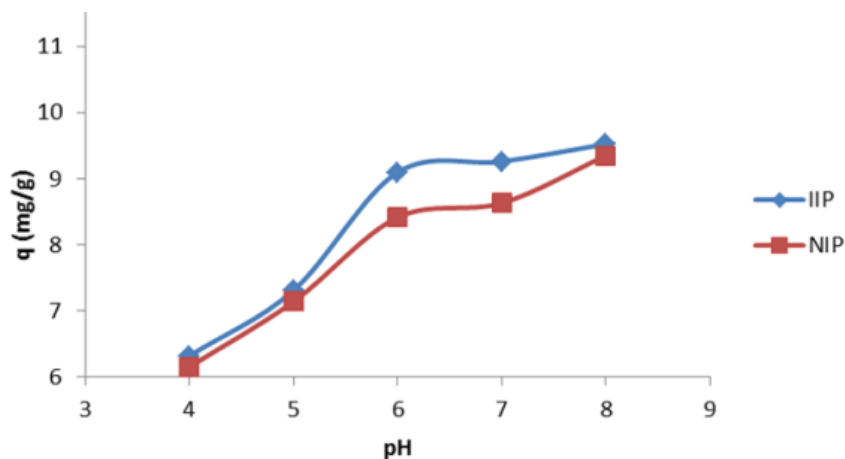


Gambar 5. Citra SEM dari SiO<sub>2</sub> (a) dan SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP (b) dan SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP



Gambar 6. Hasil analisis EDS terhadap SiO<sub>2</sub>@APTES-IIP (a) SiO<sub>2</sub>@APTES-NIP (b)

### 3.3 Optimasi pH



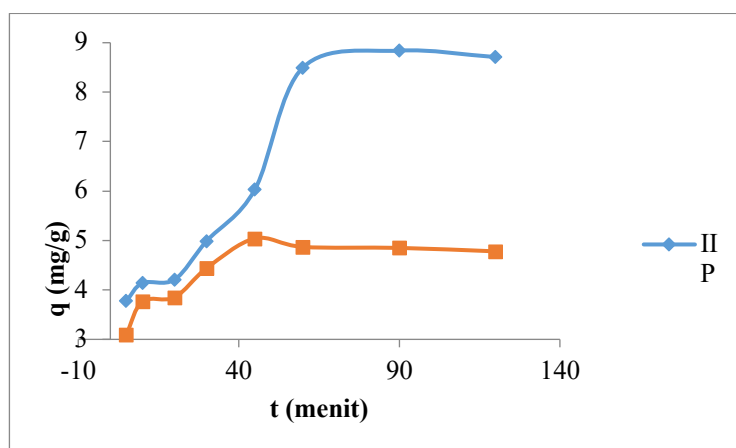
Gambar 7. Kurva optimasi pH

Hasil studi pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi terhadap  $\text{Cd}^{2+}$  ditampilkan pada Gambar 7.  $\text{SiO}_2@$ APTES-NIP digunakan sebagai pembanding. Kapasitas adsorpsi  $\text{SiO}_2@$ APTES-IIP dan  $\text{SiO}_2@$ APTES-NIP terhadap  $\text{Cd}^{2+}$  meningkat seiring dengan bertambahnya pH larutan. Namun kapasitas adsorpsi  $\text{SiO}_2@$ APTES-NIP tidak sebesar kapasitas adsorpsi  $\text{SiO}_2@$ APTES-IIP, hal tersebut dikarenakan tidak adanya rongga bercetakan ion pada permukaan  $\text{SiO}_2@$ APTES-NIP.

pH 7 dipilih sebagai pH optimum karena pada pH tersebut kapasitas adsorpsi  $\text{SiO}_2@$ APTES-IIP cukup tinggi jika dibandingkan pada kondisi pH lainnya. Nilai pKa APTES adalah 7,6 [19]. Ketika pH larutan dibawah nilai pKa APTES gugus amina pada APTES akan terprotonasi menjadi  $-\text{NH}^{2+}$  [20], hal ini menyebabkan ion logam Cd(II) sulit berikatan koordinasi dengan APTES, maka dari itu nilai kapasitas adsorpsi di bawah pH optimum sangatlah kecil. Pada pH basa nilai kapasitas adsorpsi dari kedua material sangatlah tinggi, hal ini dikarenakan pada kondisi tersebut Cd(II) mengendap menjadi  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  sehingga konsentrasi akhir ion logam Cd(II) yang terdeteksi oleh AAS sangat kecil sehingga menghasilkan nilai kapasitas adsorpsi yang tinggi.

### 3.4 Optimasi Waktu Kontak

Waktu kontak adalah parameter yang penting untuk mengevaluasi efisiensi adsorben [21]. Pada penentuan waktu kontak nilai kapasitas adsorpsi  $\text{SiO}_2@$ APTES-IIP dan  $\text{SiO}_2@$ APTES-NIP dialurkan terhadap rentang waktu 20-120 menit pada pH 7. Waktu 90 menit digunakan sebagai waktu kontak optimum untuk uji kapasitas adsorpsi maksimum. Gambar 8 menunjukkan  $\text{SiO}_2@$ APTES-IIP mencapai adsorpsi maksimum pada menit ke 90 sedangkan  $\text{SiO}_2@$ APTES-NIP mencapai adsorpsi maksimum pada menit ke 45. Kapasitas adsorpsi  $\text{SiO}_2@$ APTES-IIP dan  $\text{SiO}_2@$ APTES-NIP masing-masing sebesar 8,84 mg/g dan 5,04 mg/g.

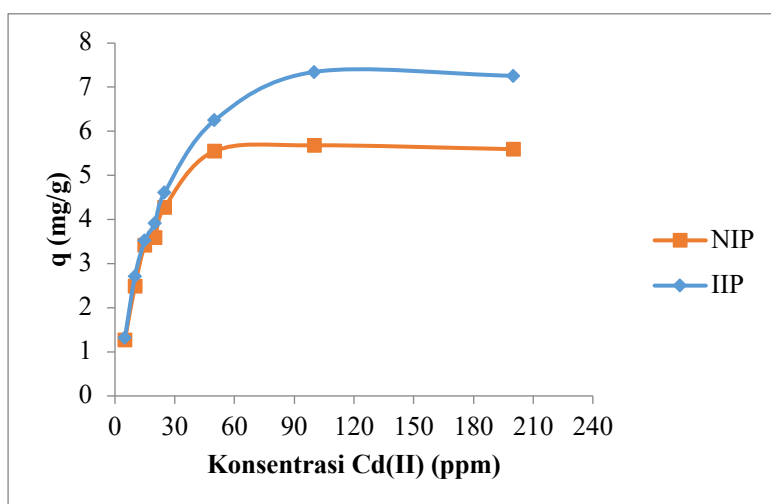


Gambar 8. Kurva penentuan waktu optimum



Waktu kontak dipengaruhi oleh banyaknya rongga pada material yang belum ditempati oleh logam kadmium dan besarnya perbedaan konsentrasi antara material penjerap dan ion kadmium dalam larutan. Kapasitas adsorpsi  $\text{SiO}_2\text{@APTES-IIP}$  lebih besar jika dibandingkan  $\text{SiO}_2\text{@APTES-NIP}$  hal ini disebabkan oleh adanya rongga bercetakan selektif pada  $\text{SiO}_2\text{@APTES-IIP}$  terhadap ion  $\text{Cd(II)}$  yang memiliki afinitas lebih kuat dibandingkan  $\text{SiO}_2\text{@APTES-NIP}$ . Pada sisa waktu kontak kapasitas adsorpsi kedua material tidak mengalami perubahan yang signifikan. Hal tersebut dikarenakan rongga yang dimiliki oleh  $\text{SiO}_2\text{@APTES-IIP}$  sudah terisi oleh ion logam  $\text{Cd(II)}$  sehingga tidak dapat berinteraksi dengan ion logam  $\text{Cd(II)}$  lainnya dalam larutan.

### 3.5 Kapasitas adsorpsi material

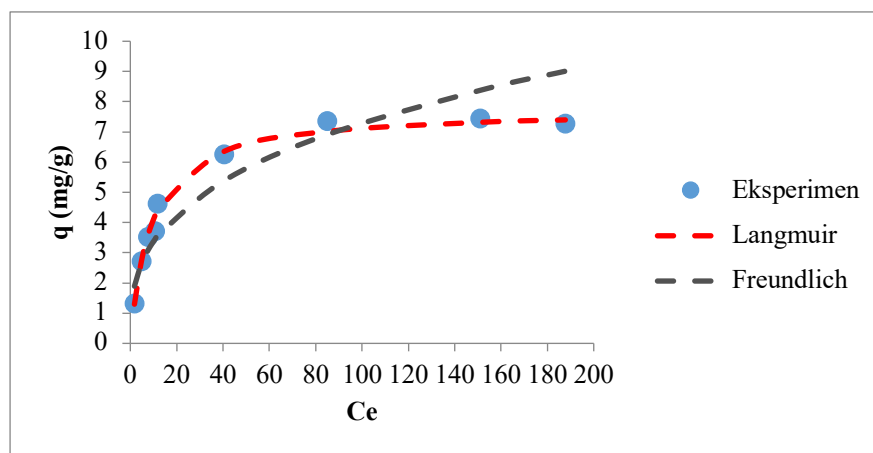


Gambar 9. Kurva penentuan kapasitas adsorpsi maksimum

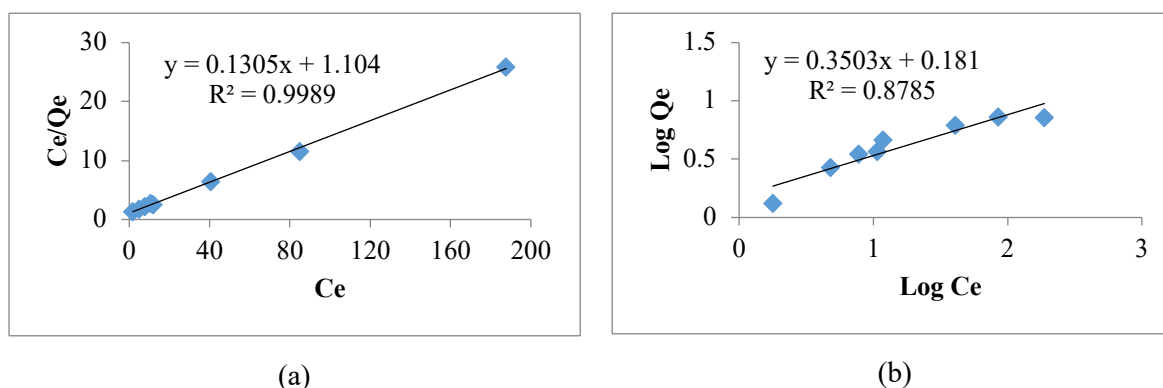
Gambar 9 menunjukkan kapasitas adsorpsi  $\text{SiO}_2\text{@APTES-IIP}$  dan  $\text{SiO}_2\text{@APTES-NIP}$  masing-masing sebesar 7,34 mg/g dan 5,59 mg/g. Kapasitas adsorpsi  $\text{SiO}_2\text{@APTES-IIP}$  dan  $\text{SiO}_2\text{@APTES-NIP}$  meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi larutan  $\text{Cd(II)}$ . Setelah konsentrasi 100 ppm tidak ada lagi perubahan signifikan dari kapasitas adsorpsi.  $\text{SiO}_2\text{@APTES-IIP}$  dan  $\text{SiO}_2\text{@APTES-NIP}$ . Hal tersebut dikarenakan rongga yang dimiliki oleh  $\text{SiO}_2\text{@APTES-IIP}$  jenuh sehingga tidak dapat menyerap ion logam  $\text{Cd(II)}$  lainnya yang tersisa dalam larutan. Hasil uji coba kapasitas adsorpsi menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum  $\text{SiO}_2\text{@APTES-IIP}$  lebih besar dari  $\text{SiO}_2\text{@APTES-NIP}$ .

### 3.6 Isoterm adsorpsi

Model isoterm adsorpsi dapat ditentukan berdasarkan data kapasitas adsorpsi maksimum dengan metode *batch*. Model Langmuir dan Freundlich digunakan untuk menentukan mekanisme adsorpsi dari  $\text{SiO}_2\text{@APTES-IIP}$ .



Gambar 10. Perbandingan model isoterm



Gambar 11. Kurva linierisasi isoterm Langmuir (a) Kurva linierisasi isoterm Freundlich (b)

Gambar 10 menunjukkan nilai kapasitas adsorpsi eksperimen bersinggungan dengan kurva model isoterm Langmuir. Berdasarkan Gambar 11(a) dan Gambar 11(b) nilai  $R^2$  yang didapat dari linierisasi kurva isoterm Langmuir dan Freundlich berturut-turut sebesar 0,9989 dan 0,8785. Jika dibandingkan nilai  $R^2$  model isoterm Langmuir lebih mendekati 1 daripada nilai  $R^2$  model isoterm Freundlich. Berdasarkan data-data tersebut dapat disimpulkan bahwa adsorpsi yang terjadi mengikuti model isoterm Langmuir. Asumsi dasar dari isoterm Langmuir antara lain: 1) adsorben mempunyai permukaan yang homogen dan hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat untuk setiap sisi aktif adsorbennya. Tidak ada interaksi antara molekul-molekul yang terserap. 2) Semua proses adsorpsi terjadi dengan mekanisme yang sama dan 3) Hanya terbentuk satu lapisan tunggal (monolayer) saat adsorpsi maksimum [22]. Tabel 1. menunjukkan isoterm adsorpsi untuk polimer bercetakan ion kadmium pada penelitian-penelitian terdahulu.

TABEL I. Perbandingan jenis material terhadap adsorpsi ion cadmium (II)

Jenis polimer bercetakan ion	$Q_{max}$ (mg/g)	Isoterm Adsorpsi	Referensi
$Cd^{2+}$ -IIPs disintesis melalui teknik presipitasi dengan 1-merkaptoketana yang berfungsi sebagai ligan dan MAA berfungsi sebagai monomer fungsional	62.9 mg/g	Langmuir	[10]
Adsorben mesopori terfungsionalisasi amino dengan cetakan Cd(II) dan misel surfaktan	122 mg/g	Langmuir	[23]
Polimer bercetakan ion magnetik yang dibuat menggunakan SBA-15 sebagai monomer, etilen glikol sebagai <i>crosslinker</i> , difenilkarbazida sebagai ligan dan $Cd^{2+}$ , $Cu^{2+}$ , dan $Ni^{2+}$ sebagai ion pencetak	111 mg/g	Langmuir	[24]

#### 4. KESIMPULAN

Sintesis  $SiO_2@APTES-IIP$  dilakukan untuk menjerap logam kadmium yang merupakan salah satu logam berbahaya larut air yang dapat masuk kedalam rantai makanan manusia. Keberhasilan sintesis dievaluasi menggunakan spektroskopi infra merah, SEM dan EDS. Perbandingan nilai kapasitas retensi antara  $SiO_2@APTES-IIP$  dengan  $SiO_2@APTES-NIP$  yang dikontakkan pada pH 7

dengan waktu kontak 90 menit berturut-turut adalah 7,34 mg/g dan 5,59 mg/g. Karakterisasi sisi ikatan dipelajari melalui model isoterm Langmuir dan Freundlich. Hasil analisis menunjukkan bahwa, model isoterm adsorpsi mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Laboratorium Kimia Analitik ITB yang telah mendukung dilakukannya penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- [1] N. K. Kortey, M. E. Heymann, E. K. Essuman, F. M. Kpodo, P.T Akonor, S. Y. Lokpo, N. O. Boadi, M. A. Akonor and C. Tettey, "Health risk assessment and levels of toxic metals in fishes (*Oreochromis niloticus* and *Clarias anguillaris*) from Ankobrah and Pra basins: Impact of illegal mining activities on food safety," *Toxicology Reports.*, vol. 7, pp. 360-369, 2020.
- [2] J. L. Young and L. Cai, "Implications for prenatal cadmium exposure and adverse health outcomes in adulthood," *Toxicology and Applied Pharmacology.*, vol. 403, 115161, 2020.
- [3] L. Huang, Q. Wang, L. Ma, Y. Wu, Q. Liu, S. Wang, Y. Feng, "Cadmium uptake from soil and transport by leafy vegetables: A meta-analysis," *Environmental Pollution.*, vol. 264, 114677, 2020.
- [4] A. R. Ishak, M. S. M. Zuhdi, M.Y. Aziz, "Determination of lead and cadmium in tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) from selected areas in Kuala Lumpur," *The Egyptian Journal of Aquatic Research.*, vol. 46, pp. 221-225, 2020.
- [5] D. E. Sari, L. N. Ismi, I. Sugoro, "Heavy metal contamination of Ciliwung River, Indonesia," *Ecology & Safety.*, vol. 13, pp. 106-111, 2019.
- [6] R. E. Morsi, A. M. Al-Sabagh, Y. M. Moustafa, S. G. El-Kholy and M. S. Sayed, "Polythiophene modified chitosan/magnetite nanocomposites for heavy metals and selective mercury removal," *Egyptian Journal of Petroleum.*, vol. 27, pp. 1077-1085, 2018.
- [7] H. Wang, Y. Lin, Y. Li, A. Dolgornaa, H. Fang, L. Guo, J. Huang, and J. Yang, "A Novel Magnetic Cd(II) Ion-Imprinted Polymer as a Selective Sorbent for the Removal of Cadmium Ions from Aqueous Solution," *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials.*, vol. 29, pp. 1874-1885, 2019.
- [8] Sharma, G., Kandasubramanian, B. (2020) : Molecularly Imprinted Polymers for Selective Recognition and Extraction of Heavy Metal Ions and Toxic Dyes, *Journal of Chemical and Engineering Data*, **65**, 396-418.
- [9] D. K. Singh and S. Mishra, "Synthesis, characterization and removal of Cd(II) using Cd(II)-ion imprinted polymer," *Journal of Hazardous Materials.*, vol. 164, pp. 1547-1551, 2009.
- [10] O. Erdem, Y. Saylan, M. Andac and A. Denizil, "Molecularly Imprinted Polymers for Removal of Metal Ions: An Alternative Treatment Method," *Biomimetics.*, vol 3(4), pp. 38, 2018.
- [11] M. Gawin, J. Knfal, B. Trzewik, S. Walas, A. Tobiasz, H. Mroweic and E. Eiteck, "Preparation of a New Cd(II)-Imprinted Polymer and Its Application to Determination of Cadmium(II) Via Flow-Injection-Flame Atomic Absorption Spectrometry," *Talanta.*, vol. 80, pp. 1305-1310, 2010.
- [12] C. Xie, S. Wei, D. Chen, W. Lan, Z. Yan, Z. Wang, "Preparation of magnetic ion imprinted polymer with waste beer yeast as functional monomer for Cd(II) adsorption and detection," *RSC Advances.*, vol. 9, pp. 23474-23483, 2019.
- [13] M. S. Jagirani, A. Balouch, S. A. Mahesar, A. Kumar, A. R. Baloch and M. I. Bhangar, "Fabrication of cadmium tagged novel ion imprinted polymer for detoxification of the toxic Cd<sup>2+</sup> ion from aqueous environment," *Microchemical Journal.*, vol 158, 105247, 2020.
- [14] C. Xie, X. Huang, S. Wei, C. Xiao, J. Cao, and Z. Wang, "Novel dual-template magnetic ion imprinted polymer for separation and analysis of Cd<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> in soil and food," *Journal of Cleaner Production.*, vol. 262, 121387, 2020.
- [15] M. M. Moein, A. A. R. Mohamed and A. Rehim, "Recent Applications of Molecularly Imprinted Sol-Gel Methodology in Sample Preparation," *Molecules.*, vol.24, 2889, 2019.

- [16] Buhani, Narsito and N. E. S. Kunarti, "Production of metal ion imprinted polymer from mercapto – silica through sol – gel process as selective adsorbent of cadmium," *Desalination.*, vol. 251(1-2), pp. 83-89, 2010.
- [17] D. L. Ramasamy, A. Wojtus, E. Repo, S. Kalliola, V. Srivastava, M. Sillanapaa, "Ligand immobilized novel hybrid adsorbents for rare earth elements (REE) removal from waste water: Assessing the feasibility of using APTES functionalized silica in the hybridization process with chitosan," *Chemical Engineering Journal*, vol 330, pp. 1370-1379, 2017.
- [18] A. M. Chrzanowska, A. Poliwoda, P. P. Wiczore, "Surface molecularly imprinted silica for selective solid-phase extraction of biochanin A, daidzein and genistein from urine samples," *Journal of Chromatography.*, vol.1392, pp. 1-9, 2015
- [19] R. Bhat and J. Genzer, "Tuning the number density of nanoparticles by multivariant tailoring of attachment points on flat substrates," *Nanotechnology.*, vol. 18, 025301, 2006.
- [20] Z. M Idris, B. H. Hameed, L.Ye, S. Hajizadeh, B. Mattiasson, A. T.M. Din, "Amino-functionalised silica-grafted molecularly imprinted polymers for chloramphenicol adsorption," *Journal of Environmental Chemical Engineering.*, vol. 8, 103981, 2020
- [21] Y. Xi, Y. Luo, J. Luo and X. Luo, "Removal of Cadmium(II) from Wastewater Using Novel Cadmium Ion-Imprinted Polymers," *Journal of Chemical & Engineering Data.*, vol. 60, pp. 3253-3261, 2015.
- [22] I. Langmuir, "The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids. Part I. Solids," *Journal of American Chemical Society.*, vol. 38 (11), pp. 2221–2295, 1916.
- [23] Y. S. Minaberry and M. Tudino, "An ion imprinted amino-functionalized mesoporous sorbent for the selective minicolumn preconcentration of cadmium ions and determination by GFAAS," *Analytical Methods*, vol 10, pp. 5305, 2018.
- [24] H. Faghilian and Z. Adibmehr, "Comparative performance of novel magnetic ion-imprinted adsorbents employed for Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> removal from aqueous solutions." *Environmental Science and Pollution Research*, vol 25, pp. 15068–15079, 2018.