



Penentuan Kondisi Optimum Desorpsi Kation Cd^{2+} Dari Adsorben Silika Gel-Gptms Termodifikasi Sulfonat

Rayhanil Afifi, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Budhi Oktavia, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Desy Kurniawati, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Ananda Putra, Universitas Negeri Padang, Indonesia

ABSTRACT

Silica gel contains active sites in the form of silanol (Si-OH) and siloxane (Si-O-Si) groups, making it useful for metal ion adsorption processes. In this research, sulfonate-modified GPTMS silica is used as an adsorbent for cadmium cations. A desorption process was conducted to remove cadmium cations from the Silica GPTMS Sulfonate adsorbent, enabling the adsorbent to be reused. The objective of this research is to determine the optimal conditions for Cd^{2+} ion desorption by varying the type of desorbing agent, concentration, and flow rate. The results of the research showed that the adsorption weight was 0.1853 mg with a percentage of 96.81%. In the desorption process the best desorption eluent for the release of Cd^{2+} is CaCl_2 0.025M, with a desorption percentage of 96.49% with a desorbed weight of 0.1787 mg Cd^{2+} . In varying CaCl_2 concentrations, optimum conditions were obtained at a concentration of 0.05 M with a desorption percentage of 100% and a desorbed weight of 0.1793 mg Cd^{2+} . Meanwhile, at the flow rate, optimum conditions were obtained at 1 mL/minute with a desorption percentage of 100%.

ARTICLE HISTORY

Submitted 09/07/2024

Revised 26/07/2024

Accepted 28/11/2024

KEYWORDS

Adsorption; desorption; sulfonate; GPTMS silica; Cd^{2+}

CORRESPONDENCE AUTHOR

✉ budhioktavia@fmipa.unp.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.30743/cheds.v7i1.9592>

1. PENDAHULUAN

Silika merupakan senyawa terbanyak setelah oksigen yang terdapat di bumi, dan mempunyai rumus kimia (SiO_2) (Sumarno et al., 2015). Silika merupakan senyawa yang dihasilkan dari polimerisasi asam silikat yang terdiri dari rantai satuan SiO_4 tetrahedral dengan rumus umum SiO_2 . Sebagai senyawa yang ditemukan di alam, silika memiliki struktur kristalin, sementara sebagai senyawa sintesis bersifat amorphous (Oktavia & Prasmi Kardi, 2020).

Sebagai salah satu jenis mineral yang melimpah di permukaan bumi, silika telah banyak dimanfaatkan dalam kehidupan manusia, seperti dalam pembuatan kaca, alat elektronik, adsorben, pupuk dan lain-lain (Oktavia et al., 2021). Silika sering dimanfaatkan sebagai padatan pendukung karena beberapa keunggulannya, yaitu stabil dalam kondisi asam, inert, biaya sintesis yang rendah, karakteristik pertukaran massa yang tinggi, dan ketahanan yang tinggi terhadap panas. Selain itu, silika gel memiliki situs aktif seperti gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) pada permukaannya. (Jiang et al., 2006).

Kandungan situs aktif yang terdapat pada silika tersebut dapat dimanfaatkan dalam proses adsorpsi, dimana gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) akan berikatan secara kimia dengan ion logam (Wogo et al., 2011). Adsorpsi ialah suatu proses dimana zat, molekul, atau ion terserap pada permukaan adsorben. Kemampuan silika dalam mengadsorpsi ion logam tergolong lemah, namun hal ini dapat ditingkatkan dengan melakukan modifikasi pada permukaan silika menggunakan gugus organik. Dengan demikian, kemampuan adsorpsi dapat diperbaiki dan ditingkatkan melalui proses modifikasi ini (Arianti & Oktavia, 2021).

Pada penelitian ini untuk meningkatkan efektivitas adsorpsi silika terhadap ion logam digunakan garam mononatrium asam 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalenadisulfonat (Azmiyawati, 2004). Proses modifikasi pada silika membutuhkan pereaksi silan atau senyawa penghubung. Pereaksi yang digunakan pada penelitian ini yaitu GPTMS (*glisidoksispropiltrimetoksisilan*), berfungsi membantu senyawa modifikator merekat pada silika (Arianti & Oktavia, 2021). Silika gel yang sudah berikatan dengan GPTMS kemudian akan direaksikan dengan 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalenadisulfonat, sehingga akan menghasilkan Silika gel-GPTMS-Sulfonat (Fitriingsih et al., 2023).

Silika gel-GPTMS-Sulfonat diharapkan dapat berperan sebagai fase diam pada kolom kromatografi berbasis ion, mengingat biaya resin penukar ion yang cenderung tinggi. Pada penelitian (Pebriani & Oktavia, 2022), silika gel yang



dimodifikasi dengan sulfonat dapat dijadikan sebagai adsorben untuk adsorpsi anion Cd^{2+} . Hasil perbandingan kapasitas penyerapan ion Cd^{2+} sesudah modifikasi lebih besar dibanding sebelum modifikasi, dimana kapasitas penyerapan silika sesudah modifikasi sebesar 2,81075 mg/g dengan persentase 78,3812% sedangkan sebelum modifikasi 2,0845 mg/g dengan persentase 58,12883%. Berdasarkan hasil tersebut, silika gel termodifikasi dapat berfungsi sebagai penukar ion, yang memungkinkan terjadinya proses desorpsi.

Kation Cd^{2+} yang teradsorpsi pada silika termodifikasi, dapat dilanjutkan dengan pelepasan kation yang terserap pada silika melalui proses desorpsi. Desorpsi merujuk pada proses pelepasan kembali spesi-spesies yang sebelumnya telah terikat pada situs aktif mikroorganisme sebagai biosorben. (Riqotul Fuadah & Rahmayanti, 2019). Proses desorpsi yang terjadi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: agen pendesorpsi, konsentrasi masing-masing agen, luas permukaan, waktu kontak, spesies zat terlarut, tekanan, dan suhu (Wankasi et al., 2005).

Dalam proses desorpsi, diperlukan agen pendesorpsi yang dapat membantu proses regenerasi tanpa menyebabkan kerusakan pada adsorben yang digunakan. Terdapat berbagai larutan yang dapat digunakan sebagai agen pendesorpsi logam berat dari biosorben (Aksu, 2005). Agen pendesorpsi yang digunakan dapat berupa asam, basa, ataupun garam. Pada penelitian (Wu et al., 2022), telah dilakukan proses pelepasan pada logam berat Cd, Cu dan Zn menggunakan agen pendesorpsi garam melalui desorpsi batch. Garam yang digunakan pada penelitian ini berupa NaNO_3 , Na_2SO_4 , NaCl , CaCl_2 , dan MgCl_2 . Hasil menunjukkan bahwa CaCl_2 merupakan agen pendesorpsi terbaik untuk pelepasan logam Cd, diikuti oleh garam NaCl dan garam-garam lainnya, kapasitas pelepasan ketiga logam berat pada salinitas berbeda mengikuti urutan $\text{Cd} > \text{Cu} > \text{Zn}$.

Keterbaruan pada penelitian ini, agen pendesorpsi CaCl_2 dan NaCl digunakan pada proses desorpsi kation Cd^{2+} menggunakan adsorben Silika gel-GPTMS-Sulfonat, dimana pada prosesnya menggunakan metode kolom. Untuk mengetahui kapasitas desorpsi dan kondisi optimum pada ion Cd^{2+} dilakukan variasi agen pendesorpsi, variasi konsentrasi pendesorpsi dan variasi laju alir (*flowrate*).

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis tertarik untuk dilakukan penelitian proses desorpsi dengan judul “Penentuan Kondisi Optimum Desorpsi Kation Cd^{2+} Dari Adsorben Silika Gel-GPTMS Termodifikasi Sulfonat”.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah labu ukur 1000 mL, gelas kimia 50 mL, erlenmeyer 50 mL, pipet tetes, kaca arloji, spatula, batang pengaduk, penjepit, pH meter, timbangan analitik, buret, statif dan klem, magnetic stirrer, kertas saring, corong, botol reagen, pipet takar, gelas ukur, kolom modifikasi, botol semprot, desikator dan oven. Instrumen yang digunakan adalah FTIR (serial number 27533 dengan tipe Universal ATR Accessory, XRF (Epsilon-3), dan SSA (Spektrofotometri Serapan Atom).

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu Silika gel (merck), 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalenadisulfonat (Merck), $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, HNO_3 p.a (Merck), NaHCO_3 p.a (Smart-Lab), HCl p.a (Merck), $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ p.a (Merck), glisidoksiipropiltrimetoksisilan (GPTMS), toluena p.a (Smart-lab), metanol p.a (Merck), aseton p.a (Smart-lab), dietil eter p.a (Smart-lab), aquades, CaCl_2 p.a (Merck) dan NaCl p.a (Merck).

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Pembuatan Reagen

a. Larutan Induk Cd^{2+} 100 ppm

Menimbang 0,0275 gram $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, larutkan didalam gelas kimia 50 mL dengan menambahkan aquades. Kemudian masukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan tambahkan aquades hingga tanda batas lalu dihomogenkan.

b. Larutan standar Cd^{2+} 20 ppm

Membuat larutan Cd^{2+} dengan konsentrasi 20 ppm, memipet 20 mL larutan induk Cd^{2+} 100 ppm kemudian diencerkan menggunakan aquades sampai tanda batas pada labu ukur 100 mL lalu homogenkan.

c. Larutan NaHCO_3 0,1 M

Menimbang 0,84 gram NaHCO_3 larutkan didalam gelas kimia 50 mL dengan menggunakan aquades. Kemudian masukan ke dalam labu ukur 100 mL dan tambahkan aquadest hingga tanda batas, lalu homogenkan larutan NaHCO_3 dan simpan dalam botol reagen.

d. Larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 3 M

Menimbang 74,464 gram $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ larutkan dengan menggunakan aquades dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan tambahkan aquades hingga tanda batas, lalu homogenkan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dan simpan dalam

botol reagen.

e. Larutan Asam Nitrat (HNO_3) 5 M

Larutan HNO_3 p.a diambil sebanyak 8,6 mL kemudian masukkan ke dalam labu ukur 25 mL yang telah di isi sedikit aquades. Tambahkan aquades sampai tanda batas dan homogenkan.

f. Larutan HCl 0,05 M

Larutan HCl p.a diambil sebanyak 0,4 mL kemudian masukkan ke dalam labu ukur 100 mL yang sebelumnya di isi sedikit aquades. Tambahkan aquades sampai tanda batas dan homogenkan.

g. Larutan Natrium Klorida (NaCl) 0,025 M

Menimbang 0,1462 gram NaCl larutkan didalam gelas kimia 50 mL dengan menggunakan aquades. Kemudian masukan ke dalam labu ukur 100 mL dan tambahkan aquadest hingga tanda batas, lalu homogenkan larutan NaCl dan simpan dalam botol reagen.

h. Larutan kalsium klorida (CaCl_2) 0,025 M

Menimbang 0,3675 gram CaCl_2 larutkan didalam gelas kimia 50 mL dengan menggunakan aquades. Kemudian masukan ke dalam labu ukur 100 mL dan tambahkan aquadest hingga tanda batas, lalu homogenkan larutan CaCl_2 dan simpan dalam botol reagen.

2.2.2 Pembuatan Silika gel- GPTMS

Pada tahap pertama ini akan dilakukan pembuatan Silika gel-GPTMS. Sebanyak 25 gram silika gel ditambahkan dengan 25 mL GPTMS dan 87,5 mL toluene. Campuran distirer selama 24 jam pada temperatur 90°C . Padatan yang diperoleh dicuci dengan metanol 12,5 mL (Weni & Oktavia, 2021). Padatan yang diperoleh diuji menggunakan FTIR, Titrasi potensiometri dan XRF.

2.2.3 Titrasi Potensiometri Silika-GPTMS

Menimbang 0,2 gram silika gel-GPTMS kemudian tambahkan 20 mL $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 3 M, diaduk pada skala 5 selama 2 jam. Titrasi dengan larutan HCl 0,05 M. Ukur pH larutan setiap penambahan 1 mL HCl (Kurnia Sari et al., 2010).

2.2.4 Pembuatan Silika gel-GPTMS Termodifikasi Sulfonat

Menimbang 23 gram Silika gel - GPTMS dimodifikasi dengan 11, 5 gram garam 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalenadisulfonat. Kemudian dilarutkan dalam 23 mL natrium bikarbonat 0,1 M stirer selama 20 jam. Setelah itu padatan dipisahkan dari filtratnya dan dibilas menggunakan aquades, aseton dan dietil eter. Kemudian dikeringkan didalam desikator, diperoleh adsorben Si-SO₃ (silika sulfonat). Hasil yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR dan XRF (Azmiyawati, 2004).

2.3 Kapasitas Adsorpsi Kation Cd^{2+} pada silika gel-GPTMS sulfonat pada kondisi optimum

0,1 g silika gel-GPTMS setelah termodifikasi sulfonat, dimasukan ke kolom yang dimodifikasi, dialirkan larutan Cd^{2+} sebanyak 10 mL pada pH optimum 5, dengan konsentrasi 20 ppm, dan laju alir 1 mL/menit. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

2.4 Penentuan jenis pendesorpsi kation Cd^{2+}

- Sebanyak 10 ml larutan CaCl_2 0,025 M dialirkan ke dalam kolom yang telah berisi silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat yang telah mengandung kation Cd^{2+} , berfungsi sebagai reagen pendesorpsi kation Cd^{2+} . Sebanyak 0.1 gram silika gel-GPTMS sebagai fase diam dengan laju alir 1 mL/menit.
- Sebanyak 10 ml larutan NaCl 0,025 M dialirkan ke dalam kolom yang telah berisi silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat yang telah mengandung kation Cd^{2+} , berfungsi sebagai reagen pendesorpsi kation Cd^{2+} . Sebanyak 0.1 gram silika gel-GPTMS sebagai fase diam dengan laju alir 1 mL/menit (Marlina et al., 2023).

2.5 Penentuan konsentrasi optimum pada desorpsi kation Cd^{2+}

Pada kolom ditambahkan silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat yang telah mengandung kation Cd^{2+} , kemudian ditambahkan masing-masing larutan garam dengan variasi konsentrasi CaCl_2 dan NaCl (0.01 M, 0.025 M, 0.05 M, 0.075 M, dan 0.1 M) pada jenis pendesorpsi dengan laju alir 1 mL/menit. Kemudian menghitung eluat dari hasil proses desorpsi dan mengumpulkan pada wadah dan melanjutkan pada tahap analisa menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) (Marlina et al., 2023).

2.6 Penentuan Kecepatan laju alir (*Flow rate*) Optimum

Sebanyak 0.1 gram silika gel-GPTMS sulfonat yang telah dilakukan pada proses adsorpsi sebelumnya sebagai fase diam, kemudian mengalirkan agen pendesorpsi sebanyak 10 mL dengan variasi laju alir yaitu 0.5 mL/menit, 0.75 mL/menit, 1 mL/menit, 1.25 mL/menit dan 1.5 mL/menit.

2.7 Karakterisasi menggunakan FTIR

Pengujian menggunakan instrumen FTIR dilakukan sebanyak 4 kali diantaranya pengujian silika gel-GPTMS sulfonat, silika gel-GPTMS sulfonat yang telah mengandung kation Cd^{2+} pada proses adsorpsi, silika gel-GPTMS sulfonat yang telah mengandung kation Cd^{2+} yang telah dialiri CaCl_2 pada proses desorpsi, silika gel-GPTMS sulfonat yang telah mengandung kation Cd^{2+} yang telah dialiri NaCl pada proses desorpsi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kemampuan silika dalam mengadsorpsi ion logam tergolong lemah, namun dapat ditingkatkan dengan memodifikasi permukaannya menggunakan gugus organik. Dalam penelitian ini, untuk meningkatkan efektivitas adsorpsi silika terhadap ion logam, digunakan garam 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalenadisulfonat. (Azmiyawati, 2004). Proses modifikasi pada silika membutuhkan pereaksi silan atau senyawa penghubung, senyawa yang digunakan pada penelitian ini yaitu GPTMS (*glisidoksispropiltrimetoksisilan*) (Arianti & Oktavia, 2021).

Penambahan senyawa GPTMS dan toluena pada proses modifikasi berfungsi sebagai pelarut. Toluena dipilih sebagai pelarut karena kondensasi dan hidrolisis antar gugus silan yang berdekatan relatif kecil, dan sebagian besar reaksi terjadi pada permukaan silika. Akibatnya, reaksi antara gugus silanol dan gugus fungsi silan lebih besar, sehingga proses silanisasi yang terjadi semakin besar dan modifikasi menjadi lebih mudah dilakukan (Suka et al., 2008).

Larutan diaduk pada suhu 90°C selama 24 jam untuk memaksimalkan pengikatan gugus silan pada silika. Kemudian, larutan dicuci dengan metanol untuk menghilangkan pengotor, yaitu toluena, sehingga diperoleh padatan yang merupakan Silika GPTMS. Dalam reaksi antara silika gel dan GPTMS, proton pada gugus silanol dalam silika gel akan terlepas, sehingga O- pada silika gel akan berikatan dengan Si pada GPTMS, membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si). Titrasi potensiometri dilakukan untuk mengetahui berapa banyak kandungan gugus epoksi yang terdapat dalam silika-GPTMS.

Silika gel yang telah terikat dengan GPTMS selanjutnya dimodifikasi dengan garam 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalenadisulfonat yang telah dilarutkan dalam natrium bikarbonat. Natrium bikarbonat digunakan karena berperan sebagai pelarut yang dapat menstabilkan pH pada saat reaksi berlangsung, sehingga kedua bahan dapat tercampur dan terlarutkan dengan baik untuk mencapai reaksi yang homogen. Campuran di stirrer selama 20 jam untuk memaksimalkan pengikatan gugus sulfonat pada permukaan Silika-GPTMS. Larutan yang diperoleh dicuci dengan aquades, aseton, dan dietil eter. Pencucian dengan ketiga zat tersebut bertujuan untuk menghilangkan pengotornya berdasarkan tingkat kepolarannya. Setelah disaring dan didiamkan dalam desikator selama 24 jam, maka didapatkan Silika GPTMS Sulfonat.

3.1 Adsorpsi Kation Kadmium (Cd^{2+}) dengan Metode Kolom

Pada penelitian yang dilakukan (Pebriani et al., 2024), Adsorpsi Cd^{2+} dengan silika GPTMS Sulfonat, diperoleh kondisi optimum yaitu pada pH 5 dan konsentrasi 20 ppm. Berdasarkan kondisi optimum yang didapatkan pada penelitian tersebut, maka pada penelitian kali ini akan dilakukan adsorpsi Silika GPTMS Sulfonat dengan metode kolom menggunakan kondisi optimum tersebut.

Tabel 1. Kapasitas dan Persen Adsorpsi Kation Cadmium (Cd^{2+})

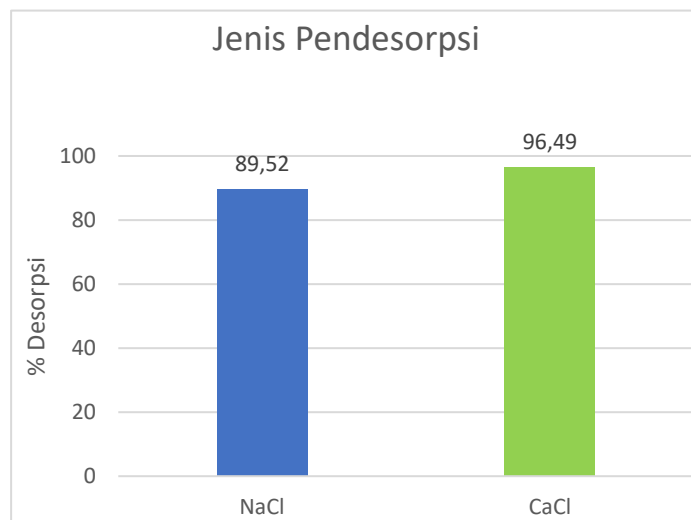
Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi akhir (mg/L)	Berat awal (mg)	Berat akhir (mg)	Berat teradsorpsi (mg)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	% Teradsorpsi
19.16	0.653	0.1916	0.0063	0.1853	1.853	96.71
18.91	0.733	0.1891	0.0071	0.1819	1.819	96.19
18.91	0.702	0.1891	0.0068	0.1822	1.822	96.35

Berdasarkan Tabel hasil yang didapatkan penyerapan kation kadmium pada metode kolom dengan berat teradsorpsi sebesar 0,1853 mg dengan persentase penyerapan sebesar 96,71%.

3.2 Desorpsi

3.2.1 Penentuan Jenis Pendesorpsi Kation Kadmium Pada Silika yang Teradsorpsi

Desorpsi adalah proses dimana spesi-spesies yang sebelumnya terikat pada sisi aktif mikroorganisme sebagai biosorben dilepaskan kembali. Desorpsi terjadi ketika proses adsorpsi mencapai tingkat maksimal, sehingga permukaan adsorben menjadi jenuh dan tidak dapat menyerap adsorbat lagi, serta terjadi suatu kesetimbangan (Riqotul Fuadah & Rahmayanti, 2019). Pada penelitian ini larutan yang digunakan sebagai ion pendesorpsi yaitu NaCl dan CaCl_2 . Dimana penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis pendesorpsi yang maksimum untuk mendesorpsi kation kadmium pada adsorben Silika GPTMS termodifikasi Sulfonat.



Gambar 1. Grafik Variasi Jenis Agen Pendesorpsi

Tabel 2. Penentuan Jenis Pendesorpsi

Jenis Pendesorpsi	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Berat Teradsorpsi (mg)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	% Adsorpsi	Konsentrasi terdesorpsi (mg/L)	Berat Terdesorpsi (mg)	% Desorpsi
NaCl	19.16	1.439	0.1775	1.775	92.64	16.22	0.1589	89.52
CaCl_2	19.16	0.653	0.1852	1.852	96.65	18.24	0.1787	96.49

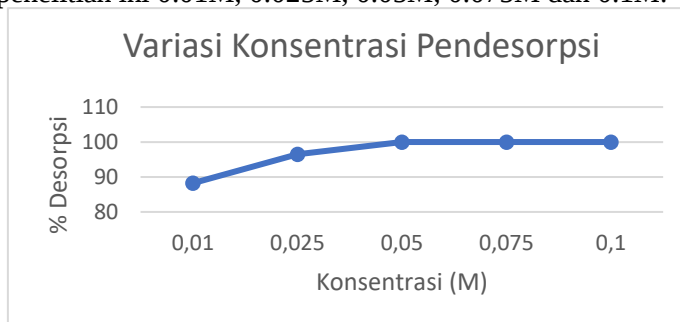
Eluen NaCl dan CaCl_2 digunakan sebagai pendesorpsi dengan konsentrasi masing yaitu 0.025 M, dialirkan ke dalam kolom yang sudah berisi silika GPTMS Sulfonat yang sudah menyerap kation Cd^{2+} . Dari hasil desorpsi ini menunjukkan bahwa kation yang lebih banyak menggantikan kation kadmium yaitu kation Ca^{2+} sebanyak 0.1787 mg dengan % desorpsi sebesar 96.49% menggunakan eluen CaCl_2 . Sedangkan kation Cd^{2+} yang tergantikan oleh kation Na^+ sebanyak 0.1589 mg dengan % desorpsi sebesar 89.52 %.

Berdasarkan hasil penelitian ini, terbukti bahwa CaCl_2 merupakan eluen terbaik yang digunakan untuk mendesorpsi kation Cd^{2+} dibandingkan NaCl. Hal ini sesuai dengan teori dimana Ca^+ lebih baik dibanding Na^+ dalam mendesorpsi kation, sesuai dengan urutan jenis ion positif yang mempunyai afinitas terhadap resin penukar ion positif dimulai dari yang terbesar hingga terkecil yaitu Ca^+ , Mg^+ , NH_4^+ , K^+ , Na^+ , dan H^+ (Aliyah Shahab & Indah Aagus Setiorini, 2023). Pada konsentrasi ion yang rendah dan suhu normal, pertukaran ion akan meningkat dengan valensi ion yang lebih tinggi. CaCl_2 memiliki valensi yang lebih besar dibanding NaCl, dimana pada proses desorpsi, CaCl_2 dapat menggantikan ion Cd^{2+} lebih maksimal karena memiliki muatan yang sama yaitu +2. Sedangkan pada ion pendesorpsi NaCl, Na^+ bermuatan +1, sehingga memerlukan dua gugus fungsi untuk menggantikan muatan +2 pada ion Cd^{2+} .

Hasil yang didapat pada penelitian ini juga sesuai dengan penelitian (Wu et al., 2022), dimana telah dilakukan proses pelepasan pada logam berat Cd menggunakan agen pendesorpsi garam melalui desorpsi batch. Garam yang digunakan pada penelitian ini berupa NaNO_3 , Na_2SO_4 , NaCl, CaCl_2 , dan MgCl_2 . Hasil menunjukkan bahwa CaCl_2 merupakan agen pendesorpsi terbaik untuk pelepasan logam Cd, diikuti oleh garam NaCl dan garam-garam lainnya.

3.2.2 Pengaruh Konsentrasi Garam pada Desorpsi Kation Kadmium

Proses desorpsi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya konsentrasi agen pendesorpsinya. Perlakuan desorpsi dilakukan menggunakan larutan pendesorpsi terbaik yang sudah didapatkan sebelumnya yaitu CaCl_2 . Variasi konsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini 0.01M, 0.025M, 0.05M, 0.075M dan 0.1M.



Gambar 2. Grafik Variasi Konsentrasi CaCl_2 Sebagai Agen Pendesorpsi

Tabel 3. Variasi Konsentrasi CaCl_2 Sebagai Agen Pendesorpsi

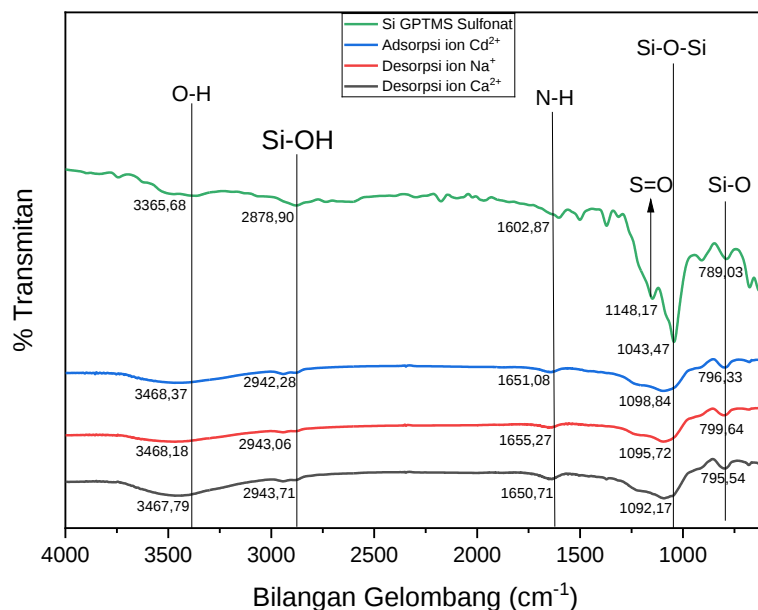
Konsentrasi (M)	Berat Teradsorpsi (mg)	Berat terdesorpsi (mg)	% Desorpsi
0,01	0,1834	0,1618	88,22
0,025	0,1852	0,1787	96,49
0,05	0,1793	0,1793	100
0,075	0,1819	0,1819	100
0,1	0,1822	0,1822	100

Berdasarkan variasi konsentrasi yang digunakan, data desorpsi yang diperoleh terus meningkat hingga mencapai kondisi optimum pada konsentrasi 0,05 M. Pada konsentrasi tersebut, jumlah kation kadmium yang terdesorpsi oleh CaCl_2 yaitu sebesar 0,1793 mg dengan persentase serapan 100 %, dimana hal itu menandakan bahwa kation kadmium yang sebelumnya terserap, telah terlepas seluruhnya. Pada kondisi optimum, ion Ca^+ yang terdapat pada CaCl_2 akan berikatan atau terjadi pertukaran ion dengan kation Cd^{2+} . Semakin tinggi konsentrasi CaCl_2 yang digunakan, maka jumlah Ca^+ dari CaCl_2 akan melepaskan kation kadmium yang terikat pada adsorben Silika GPTMS Sulfonat juga semakin meningkat, sehingga jumlah kation terdesorpsi juga akan semakin bertambah. Begitupun sebaliknya, semakin rendah konsentrasi CaCl_2 sebagai pendesorpsi, maka interaksi elektrostatisnya semakin menurun (Sinaga et al., n.d.).

Pada saat konsentrasi dinaikan hingga 0.075 M dan 0.1 M, hasil desorpsi tidak lagi mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan, pada kondisi tersebut proses desorpsi telah mencapai keadaan setimbang sehingga kation yang terdapat pada silika telah terlepas seluruhnya dan terjadinya pertukaran kation kadmium dengan ion Ca^+ . Menurut (Patel, 2021) konsentrasi eluen merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi proses desorpsi, dimana apabila konsentrasi terlalu tinggi maka akan menyebabkan rusaknya struktur adsorben sehingga sulit terjadi pertukaran ion.

3.3 Karakterisasi Menggunakan FTIR

FTIR merupakan suatu teknik analisis yang penting untuk mendeteksi getaran gugus fungsi yang terdapat pada permukaan adsorben. Karakterisasi dengan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada silika. Silika GPTMS termodifikasi sulfonat, Silika GPTMS Sulfonat setelah adsorpsi dan desorpsi merupakan sampel yang diukur menggunakan FTIR pada penelitian ini, sehingga di dapatkan angka gelombang antara $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$. Hasil pengukuran spektrum FTIR dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 16. Spektrum FTIR (a) Silika GPTMS Sulfonat (b) Silika GPTMS Sulfonat-Adsorpsi Cd^{2+} (c) Silika GPTMS Sulfonat-Desorpsi NaCl (d) Silika GPTMS Sulfonat-Desorpsi CaCl_2

Tabel 4. Hasil analisis FTIR Silika GPTMS setelah Adsorpsi-Desorpsi

Silika GPTMS Sulfonat	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Jenis vibrasi
Sebelum Adsorpsi	3365,68	O-H
	2878,90	Si-OH
	1602,87	N-H
	1148,17	S=O
	1043,47	Si-O-Si
	789,03	Si-O
Setelah Adsorpsi kation Cd^{2+}	3468,37	O-H
	2942,28	Si-OH
	1651,08	N-H
	1098,84	Si-O-Si
	796,33	Si-O
Setelah Desorpsi NaCl	3468,18	O-H
	2943,06	Si-OH
	1655,27	N-H
	1095,72	Si-O-Si
	799,64	Si-O
Setelah Desorpsi CaCl_2	3467,79	O-H
	2943,71	Si-OH
	1650,71	N-H
	1092,17	Si-O-Si
	795,54	Si-O

Pada spektrum FTIR Silika gel-GPTMS Sulfonat, adanya puncak spektra gugus Si-O-Si pada bilangan gelombang $1043,47 \text{ cm}^{-1}$ dan gugus Si-OH pada $2878,90 \text{ cm}^{-1}$ yang mana kedua gugus tersebut berasal dari silika gel. Pada silika sulfonat setelah proses adsorpsi kation Cd^{2+} , terjadi pergeseran bilangan gelombang pada gugus Si-O-Si menjadi $1098,84 \text{ cm}^{-1}$ dan gugus Si-OH $2942,28 \text{ cm}^{-1}$. Pada silika sulfonat setelah proses desorpsi kation Cd^{2+} dengan NaCl, terjadi pergeseran bilangan gelombang pada gugus Si-O-Si menjadi $1095,72 \text{ cm}^{-1}$ dan gugus Si-OH $2943,06 \text{ cm}^{-1}$. Sedangkan pada silika sulfonat setelah proses desorpsi kation Cd^{2+} dengan CaCl_2 , terjadi pergeseran bilangan gelombang pada gugus Si-O-Si menjadi $1092,17 \text{ cm}^{-1}$ dan gugus Si-OH $2943,71 \text{ cm}^{-1}$.

Pada spektrum FTIR Silika gel-GPTMS Sulfonat, pada bilangan gelombang $1148,17 \text{ cm}^{-1}$ terdapat gugus sulfonat (S=O) sesuai dengan range bilangan gelombang gugus sulfonat yaitu antara $1200\text{-}1100 \text{ cm}^{-1}$ (Nandiyanto et al., 2019). Terikatnya garam sulfonat pada Silika gel-GPTMS juga diperkuat dengan terdapat gugus OH pada bilangan gelombang $3365,68 \text{ cm}^{-1}$ akibat dari pembukaan cincin pada gugus epoksi saat bereaksi dengan garam sulfonat. Pada silika sulfonat

setelah proses adsorpsi kation Cd^{2+} terjadi pergeseran bilangan gelombang pada gugus OH menjadi $3468,37 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan pada proses desorpsi Cd^{2+} dengan NaCl dan CaCl_2 bilangan gelombang pada gugus OH menjadi $3468,18 \text{ cm}^{-1}$ dan $3467,79 \text{ cm}^{-1}$.

Adanya gugus N-H (amina primer) dengan bilangan gelombang $1602,87 \text{ cm}^{-1}$ menjadi salah satu bukti terikatnya garam sulfonat pada Silika gel-GPTMS, pita amina primer ini biasa muncul pada panjang gelombang $1620\text{--}1560 \text{ cm}^{-1}$ (Azmiyawati, 2004). Pada silika sulfonat setelah proses adsorpsi kation Cd^{2+} terjadi pergeseran bilangan gelombang pada gugus N-H menjadi $1651,08 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan pada proses desorpsi Cd^{2+} dengan NaCl dan CaCl_2 bilangan gelombang pada gugus N-H menjadi $1655,27 \text{ cm}^{-1}$ dan $1650,71 \text{ cm}^{-1}$.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Eluen pendesorpsi optimum pada desorpsi kation Cd^{2+} dari adsorben Silika GPTMS Sulfonat adalah kation Ca^{2+} dari ion pendesorpsi CaCl_2 0.025M, dengan melepaskan sebanyak 0.1787 mg kation Cd^{2+} dan persentase desorpsi sebesar 96.49%.
2. Konsentrasi optimum eluen pendesorpsi kation Cd^{2+} dari adsorben Silika GPTMS Sulfonat adalah pada CaCl_2 0.05M, dengan melepaskan sebanyak 0.1793 mg kation Cd^{2+} dan persen desorpsi sebesar 100 %.

4.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Menggunakan jenis pendesorpsi selain NaCl dan CaCl_2 yang dapat melepaskan kation Cd^{2+} lebih cepat.
2. Menggunakan jenis pendesorpsi selain garam, yaitu dapat berupa asam atau basa sehingga dapat melepaskan kation Cd^{2+} yang lebih baik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aksu, Z. (2005). Application of biosorption for the removal of organic pollutants: A review. *Process Biochemistry*, 40(3–4), 997–1026. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.04.008>
- Aliyah Shahab, & Indah Aagus Setiorini. (2023). Efektifitas Volume Resin Ion Exchanger Terhadap Kapasitas Pertukaran Ion Dan Waktu Jenuh Pada Unit Demin Plant Di Pt Pln (Persero) Updk Keramasan. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2(9), 3791–3802. <https://doi.org/10.53625/jirk.v2i9.5407>
- Arianti, Y., & Oktavia, B. (2021). Optimization of Nitrate and Nitrite Anions Adsorption on Modified Silica using Batch Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1940(1), 012042. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1940/1/012042>
- Azmiyawati, C. (2004). Modifikasi Silika Gel dengan Gugus Sulfonat untuk Meningkatkan Kapasitas Adsorpsi $\text{Mg}(\text{II})$. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 7(1), 10–16. <https://doi.org/10.14710/jksa.7.1.10-16>
- Fitriningsih, A., Oktavia, B., Studi, P., Universitas, K., & Padang, N. (2023). Optimasi Adsorpsi Ion Co^{2+} + Menggunakan Silika Gel-GPTMS (Glycidoxypolytrimethoxysilane) Dimodifikasi dengan Sulfonat. 7, 24102–24110.
- Jiang, N., Chang, X., Zheng, H., He, Q., & Hu, Z. (2006). Selective solid-phase extraction of nickel(II) using a surface-imprinted silica gel sorbent. *Analytica Chimica Acta*, 577(2), 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2006.06.049>
- Marlina, D., Oktavia, B., Benti, S., & Aini, S. (2023). Penentuan Kondisi Optimum Desorpsi Anion Nitrat (NO_3^-) pada Silika Mesopori Termodifikasi Dimetilamina (DMA). *Periodic*, 12(2), 16. <https://doi.org/10.24036/periodic.v12i2.118091>
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Oktavia, B., & Prasmi Kardi, R. (2020). Fabrication of methacrylate polymer-based on the silica capillary modified with dimethylamine. *Journal of Physics: Conference Series*, 1481(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1481/1/012016>
- Oktavia, B., Tilla, M., Nasra, E., Zainul, R., & Amin, M. (2021). Activation and Modification of Natural Silica for Anion Adsorbent. *Journal of Physics: Conference Series*, 1788(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1788/1/012013>
- Patel, H. (2021). Review on solvent desorption study from exhausted adsorbent. *Journal of Saudi Chemical Society*, 25(8), 101302. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2021.101302>
- Pebriani, Oktavia, B., Nasra, E., & Riga, R. (2024). Optimasi Adsorpsi Ion Cd^{2+} Pada Silika Gel – GPTMS (glisidoksilpropoltrimetoksisilan) Termodifikasi Sulfonat. *Periodic*, 13(1), 71. <https://doi.org/10.24036/periodic.v13i1.124279>

- Riqotul Fuadah, S., & Rahmayanti, M. (2019). Adsorpsi-Desorpsi Zat Warna Naftol Blue Black Menggunakan Adsorben Humin Hasil Isolasi Tanah Gambut Riau, Sumatera. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 4(02), 59–67. <https://doi.org/10.23960/aec.v4.i2.2019.p59-67>
- Setiawan, A., & Purwoto, S. (2019). Pengolahan Air Tanah Berbasis Treatment Resin Penukar Ion, Zeolit Dan Sinar Uv. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 17(2), 19–28. <https://doi.org/10.36456/waktu.v17i2.2133>
- Sinaga, R., Purwonugroho, D., & Darjito. (n.d.). ADSORPSI SENG (II) OLEH BIOMASSA *Azolla microphylla* DIESTERIFIKASI DENGAN ASAM SITRAT : KAJIAN DESORPSI MENGGUNAKAN LARUTAN HCl Ria Septiani Sinaga , Danar Purwonugroho *, Darjito Email : danar@ub.ac.id ABSTRAK PENDAHULUAN Untuk mengikat kontaminan seng. 1(1), 629–635.
- Suka, I. G., Rohman, S., & Simanjuntak, W. (2008). Fungsionalisasi Silika Sekam Padi dengan 4-Vinil Piridin Menggunakan Metoda Grafting. *J. Sains MIPA*, 14(1), 20–28.
- Sumarno, T, P. N., Januarty, M., & Yuniarti, Y. (2015). Pemurnian Pasir Silika dengan Metode Leaching Asam dan bantuan Sonikasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan,” 2001*, 1–8.
- Wankasi, D., Horsfall, M., & Spiff, A. I. (2005). Desorption of Pb^{2+} and Cu^{2+} from Nipa palm (*Nypa fruticans* Wurmb) biomass. *African Journal of Biotechnology*, 4(9), 923–927.
- Weni, N. K., & Oktavia, B. (2021). Optimization of hexavalent chromium ion adsorption using natural silica modified with DMA (Dimethylamine) by batch method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1788(1), 12014.
- Wijayanti*, I. E., & Eka Anisa Kurniawati. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 4(2), 175. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v4i2.6119>
- Wogo, H. E., Segu, J. O., & Ola, P. D. (2011). Sintesis Silika Gel Terimobilisasi Dithizon Melalui Proses Sol-Gel. *Journal Chemical*, 5(1), 84–95.
- Wu, L., Yue, W., Zheng, N., Guo, M., & Teng, Y. (2022). Assessing the impact of different salinities on the desorption of Cd, Cu and Zn in soils with combined pollution. *Science of the Total Environment*, 836(May), 155725. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155725>