



Desorpsi Ion Cu^{2+} Pada Adsorben Silika Gel-GPTMS (*Glycidoxypropyltrimethoxysilane*) Termodifikasi Sulfonat

Syakhinah Berlian, Univeristas Negeri Padang, Indonesia

Budhi Oktavia, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Edi Nasra, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Melindra Mulia, Universitas Negeri Padang, Indonesia

ABSTRACT

Desorption is the stage where molecules, ions or particles that were previously absorbed by the adsorbent are released again. This process is used to regenerate the adsorbent so that it can be used again. In this research, desorption was carried out on copper cations that had been adsorbed on a silica gel-GPTMS adsorbent that had been modified with sulfonate. This research aims to determine which eluent is most effective in desorbing between 0.025 M NaCl and 0.025 M CaCl_2 . After the eluent with higher desorption efficiency has been identified, variations in its optimal concentration and flow rate are carried out in desorbing copper cations. The success of adsorbent modification and the desorption and adsorption processes were evaluated using FTIR, XRF, potentiometric titration, and AAS. The research results showed that 0.025 M CaCl_2 had a higher desorption percentage of 95.17% compared to 0.025 M NaCl which only reached 59.29%. In varying concentrations of CaCl_2 , the optimal concentration condition was found at 0.05 M with a desorption percentage reaching 100%, and the amount of Cu^{2+} desorbed was 0.1425 mg on silica gel-GPTMS sulfonate. Therefore, it can be concluded that the calcium ions successfully desorbed the copper cations that had been adsorbed on the silica gel-GPTMS modified with sulfonate.

ARTICLE HISTORY

Submitted 08/07/2024

Revised 25/07/2024

Accepted 26/11/2024

KEYWORDS

Desorption; copper; silica gel; modification; sulfonate

CORRESPONDENCE AUTHOR

✉ budhioktavia@fmipa.unp.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.30743/cheds.v7i1.9581>

1. PENDAHULUAN

Silika gel umumnya digunakan dalam dunia industri, silika gel diterapkan dalam beragam konteks, seperti berperan sebagai adsorben, desikan, pengisi dalam kromatografi (sebagai fasa diam), serta berfungsi sebagai bahan isolator. Kromatografi ion merupakan metode yang berguna untuk memisahkan kation logam. Jenis kromatografi ini termasuk dalam kromatografi cair dan digunakan untuk menganalisis anion dan kation. Pada instrumen *High Ion Chromatography*, diperlukan satu kolom khusus yang berfungsi sebagai pemisah, yaitu kolom penukar anion dan kation. Penggunaan kolom secara terus menerus dapat merusaknya dan menghambat proses pemisahan. Kerusakan kolom dapat menjadi permasalahan serius karena harganya yang tinggi, sehingga dibutuhkan fasa diam buatan sebagai alternatif yang lebih ekonomis untuk mengurangi biaya pembelian kolom (Aliyah Shahab & Indah Aagus Setiorini, 2023).

Silika gel mengandung gugus Si-O-Si dan Si-OH telah terbukti mampu menyerap ion logam seperti Cd^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , dan Fe^{3+} . Meskipun demikian, daya ikat yang dimiliki oleh gugus silanol terhadap ion logam cenderung rendah, sehingga tidak begitu efektif sebagai adsorben dalam penyerapan ion logam. Oleh karena itu, untuk meningkatkan efisiensinya, diperlukan modifikasi pada silika gel (Azmiyawati, 2004).

Pemodifikasi pada permukaan silika gel dapat dilakukan melalui teknik immobilisasi, di mana gugus fungsional organik digunakan untuk mengikat ion logam berat. Tujuan dari modifikasi ini adalah untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap ion logam dengan meningkatkan jumlah situs aktif pada permukaan silika gel melalui perbanyakan gugus O⁻. Dengan demikian, silika gel yang telah dimodifikasi dengan sulfonat, yang memiliki sifat basa keras, diharapkan dapat menunjukkan peningkatan kemampuan adsorpsi terhadap ion logam (Mardhatillah & Oktavia, 2023).

Salah satu metode untuk menghasilkan gugus O⁻ pada silika gel adalah dengan memodifikasi menggunakan sulfonat. Namun, modifikasi langsung silika dengan sulfonat tidak efisien. Oleh karena itu, diperlukan keberadaan



senyawa penghubung yang dapat menghambat laju kondensasi dan meningkatkan kekuatan ikatan antara silika dan sulfonat. Sebagai contoh, *glycidoxypropyltrimethoxysilane* (GPTMS) dapat berfungsi sebagai senyawa penghubung yang cocok. Senyawa ini dilengkapi dengan gugus epoksi yang memungkinkan untuk membuka gugus tersebut dan membentuk ikatan dengan garam sulfonat (Azmiyawati, 2004).

Pada penelitian (Wu et al., 2022), telah dilakukan proses desorpsi logam berat Zn, Cd, dan Cu menggunakan agen pendesorpsi berupa garam dalam metode desorpsi batch. Garam-garam yang digunakan dalam penelitian ini meliputi NaNO_3 , Na_2SO_4 , NaCl , CaCl_2 , dan MgCl_2 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa CaCl_2 menjadi agen pendesorpsi yang efektif untuk melepaskan logam Cu, bahkan mengungguli garam lainnya seperti NaCl . Urutan kapasitas pelepasan logam berat tersebut berbeda, dengan urutan $\text{Cd} > \text{Cu} > \text{Zn}$.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa biomassa dapat larut dan diregenerasi menggunakan pelarut organik seperti metanol atau etanol, serta pelarut anorganik seperti HCl , H_2SO_4 , HNO_3 , dan EDTA (Widarti, 2015). Pada resin penukar ion positif yang berasal dari asam kuat, urutan afinitas ion positif terhadap resin dimulai dari yang tertinggi hingga yang terendah adalah: Ca^+ , Mg^+ , NH_4^+ , K^+ , Na^+ , dan H^+ . Urutan ini dapat digunakan sebagai panduan dalam memilih garam-garam sebagai agen pendesorpsi, serta sebagai referensi untuk memilih agen pendesorpsi yang sesuai dalam proses pemulihan kolom tanpa merusak struktur kolom (Putri et al., 2023).

Selama desorpsi, partikel, ion, atau molekul yang sebelumnya teradsorpsi pada adsorben dilepaskan. Proses desorpsi melibatkan interaksi antara adsorben yang terlibat dalam proses adsorpsi dan desorben, sering disebut sebagai eluen. Eluen dapat berupa larutan asam, netral, atau basa. Fungsinya adalah untuk menghancurkan ikatan antara adsorbat dan adsorben. Penggunaan pelarut dalam proses desorpsi dianggap pilihan yang optimal karena mendukung regenerasi yang efisien dan ekonomis (Indah, 2014).

Proses desorpsi dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk jenis pelarut, konsentrasi, volume pelarut, jenis metode, luas permukaan, laju alir, waktu kontak, dan faktor lainnya. Pemilihan jenis eluen memiliki peran krusial dalam proses desorpsi karena menentukan pemisahan antara adsorben dan adsorbat. Konsentrasi eluen yang optimal adalah yang sedang, tidak terlalu rendah maupun terlalu tinggi. Konsentrasi terlalu rendah dapat menghambat proses desorpsi dan membutuhkan volume eluen yang lebih besar, sementara konsentrasi terlalu tinggi dapat merusak struktur adsorben dan memperlambat proses desorpsi secara keseluruhan (Indah, 2014). Laju alir yang lambat dapat meningkatkan tingkat pemisahan. Waktu kontak juga memiliki peranan penting karena semakin lama molekul terserap, semakin lama pula waktu kontak antara agen desorpsi dan adsorben (Sobirin et al., 2014).

Dalam penelitian ini, kation tembaga yang telah teradsorpsi pada adsorben silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat selama proses adsorpsi akan dihilangkan menggunakan NaCl dan CaCl_2 sebagai eluen pendesorpsi. Variasi konsentrasi eluen digunakan untuk menentukan kondisi optimal dalam mendesorpsi kation tembaga dari silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat menggunakan metode kolom. Pendekatan ini menawarkan keunggulan sistem dinamis yang dapat diterapkan dalam pengelolaan limbah industri.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Instrumen yang digunakan dalam penelitian melibatkan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dengan tipe PerkinElmer Universal ATR Accessory (UATR), SSA (Spektrofotometri Serapan Atom) dengan tipe AA240, dan XRF (*X-ray Diffraction Fourier*) dengan tipe EPSILON-3.

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini mencakup mesin penghalus, gelas kimia, batang pengaduk, desikator, penangas air, gelas ukur, hot plate, termometer, corong, buret, kertas saring Whatman (125 mm), botol semprot, statif, klem, spatula, erlenmeyer, pH meter, shaker, botol reagen, neraca analitik, oven, syringe, kolom modifikasi, pipet takar, labu ukur, pipet tetes, kaca arloji, magnetic stirrer, dan penjepit.

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu, silika gel (Merck), HCl p.a (Merck), HNO_3 p.a (Merck), metanol p.a (Merck), CaCl_2 p.a (Merck), aquades, aseton p.a (Smart-lab), dietil eter p.a (Smart-lab), GPTMS (Sigma A), natrium bikarbonat p.a (Smart-lab), toluena p.a (Smart-lab), $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (Loba), asam – 4 – amino – 5 – hidroksi – 2,7 – naftalenadisulfonat (Merck), NaCl p.a (Merck), Natrium tiosulfat p.a (Merck).

2.2 Prosedur Kerja

1. Pembentukan silika gel – GPTMS

Ambil 25 gram silika dan campurkan dengan 25 mL GPTMS serta 87,5 mL toluena. Aduk campuran ini pada suhu 90°C selama 24 jam menggunakan stirrer. Setelah itu, bilas campuran dengan 12,5 mL metanol (Weni & Oktavia, 2021). Hasil dari proses ini kemudian dianalisis menggunakan instrumen FTIR, XRF, dan titrasi potensiometri.

2. Silika gel-GPTMS termodifikasi gugus sulfonat

Campurkan 23 gram silika gel-GPTMS dengan 11,5 gram asam 4-amino-5-hidroksi-2,7-

naftalenedisulfonat dalam 23 mL larutan NaHCO_3 0,1 M, kemudian aduk campuran tersebut dengan stirrer selama 20 jam. Setelah itu, saring campuran tersebut. Bilas padatan yang diperoleh dengan air demineralisasi, aseton, dan dietil eter, lalu keringkan padatan tersebut di dalam desikator. Hasil dari proses ini kemudian dianalisis menggunakan instrumen FTIR dan XRF (Azmiyawati, 2004).

3. Kapasitas penyerapan kation Cu^{2+} oleh silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat pada kondisi optimum

Padatan silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat di timbang sebanyak 0,1 gram dimasukkan ke kolom yang dimodifikasi, dialirkan larutan ion Cu^{2+} 15 ppm pada pH optimum 4. Hasil filtrat di analisis dengan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) (Setiowati et al., 2023).

4. Penentuan jenis pendesorpsi kation Cu^{2+}

Tuangkan 10 mL larutan NaCl 0,025 M dan CaCl_2 0,025 M ke dalam kolom yang diisi dengan silika gel-GPTMS yang telah dimodifikasi dengan sulfonat dan mengandung kation Cu^{2+} . Larutan NaCl dan CaCl_2 masing-masing 0,025 M bertindak sebagai reagen desorpsi untuk melepaskan kation Cu^{2+} . Sebanyak 0,1 gram silika gel-GPTMS yang dimodifikasi dengan sulfonat sebagai adsorben (Marlina, 2022).

5. Penentuan konsentrasi optimum desorpsi kation Cu^{2+}

Isi kolom dengan silika gel-GPTMS yang telah dimodifikasi dengan sulfonat dan mengandung kation Cu^{2+} . Kemudian, alirkan 10 mL agen desorpsi ke dalam kolom dengan berbagai konsentrasi, yaitu 0,01 M, 0,025 M, 0,05 M, 0,075 M, dan 0,1 M, sesuai dengan jenis desorpsi yang digunakan. Selama proses desorpsi, eluat dikumpulkan dan kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) untuk menentukan kandungan Cu^{2+} yang terdesorpsi (Marlina, 2022).

6. Analisis menggunakan FTIR

Pengujian FTIR dilakukan dalam empat tahap yang berbeda, meliputi analisis silika gel-GPTMS yang telah dimodifikasi sulfonat, silika gel-GPTMS yang dimodifikasi dengan kation Cu^{2+} selama proses adsorpsi, silika gel-GPTMS yang dimodifikasi sulfonat dengan kation Cu^{2+} setelah desorpsi menggunakan Na^+ dari NaCl , dan silika gel-GPTMS yang dimodifikasi sulfonat dengan kation Cu^{2+} setelah desorpsi menggunakan Ca^{2+} dari CaCl_2 .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Modifikasi permukaan silika gel merupakan keseluruhan proses yang bertujuan untuk mengubah komposisi permukaan silika gel. Pada penelitian ini silika gel dimodifikasi dengan senyawa organik yaitu 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalenedisulfonat dan senyawa pengikat glisidoksi propil trimetoksisilana (GPTMS). Senyawa ikatan silang ini digunakan karena mempunyai banyak gugus pengkhelat yang mengandung ion-ion tanpa gugus fungsi yang reaktif untuk proses silanisasi (Sefriani & Oktavia, 2021).

Silika gel kemudian direaksikan dengan GPTMS sebagai senyawa pengikat silang dan toluena sebagai pelarut. Larutan diaduk pada suhu 90°C selama 24 jam untuk memaksimalkan proses pengikatan gugus silan pada silika gel. Kemudian dicuci dengan metanol untuk menghilangkan pengotor yaitu toluena. Padatan yang dihasilkan disebut silika gel GPTMS. Dalam reaksi antara silika gel dan GPTMS, proton gugus silanol silika gel dilepaskan, dan O- dari silika gel bergabung dengan Si dari GPTMS, membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si). Dilakukan titrasi potensiometri untuk mengetahui berapa banyak kandungan gugus epoksi yang terkandung dalam Silika gel-GPTMS. Karakterisasi menggunakan FTIR dan XRF juga dilakukan terhadap Silika gel-GPTMS.

Melalui reaksi ini, proton dari gugus silanol dari silika gel dilepaskan, dan ikatan terbentuk antara Si dari silika gel dan gugus O- metoksi dari glisidoksi propil trimetoksisilana. Oleh karena itu produk yang dihasilkan dinamakan silika gel-GPTMS. Gugus epoksi kemudian terbuka dan berikatan dengan gugus NH dari asam 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalenedisulfonat. Hasil perbaikan penelitian ini adalah silika gel termodifikasi sulfonat – GPTMS. Silika termodifikasi sulfonat ini dapat dijadikan gugus penukar kation, salah satunya yaitu ion Cu^{2+} (Azmiyawati, 2004).

3.1 Adsorpsi Silika Dengan Metode Kolom

Dalam penelitian ini, silika gel yang dimodifikasi dengan garam sulfonat digunakan sebagai adsorben, dengan adsorbatnya berupa kation tembaga, menggunakan metode kolom. Proses adsorpsi dalam metode kolom ini melibatkan lewatnya larutan yang mengandung molekul tertentu, di mana molekul-molekul ini dilepaskan dari larutan melalui reaksi kimia dan fisika, yang menempel pada permukaan adsorben (Maregianti et al., 2021).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Setiowati et al., 2023) yaitu adsorpsi silika, silika gel yang dimodifikasi sulfonat menghasilkan situs aktif yang dapat mengadsorpsi kation tembaga pada permukaan adsorben. Kondisi optimal dicapai untuk setiap parameter yaitu nilai pH optimal 4 dan konsentrasi optimal 15 ppm. Berdasarkan kondisi optimal yang diperoleh pada penelitian sebelumnya, maka kami akan melakukan adsorpsi silika menggunakan metode kolom pada kondisi optimal tersebut.

Tabel 1. Kapasitas dan Persen Adsorpsi Cu^{2+} Pada Silika Gel- GPTMS Sulfonat Dengan Metode Kolom

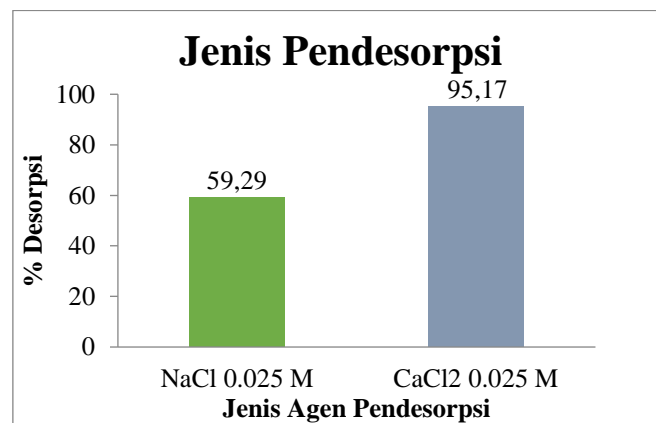
Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi akhir (mg/L)	Berat awal (mg)	Berat akhir (mg)	Berat teradsorpsi (mg)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	% Teradsorpsi
14.370	0.140	0.1437	0.0013	0.1424	1.424	99.09
14.370	0.1590	0.1437	0.0015	0.1421	1.4215	98.92
14.370	0.2318	0.1437	0.0022	0.1414	1.4143	98.42

Berdasarkan data dalam tabel tersebut, hasil penyerapan kation tembaga menggunakan metode kolom mencapai 1.424 mg/g dengan persentase penyerapan sebesar 99,09% dan berat ion Cu^{2+} yang teradsorpsi sebesar 0,1424 mg. Pada kondisi pH 4, terbukti menjadi kondisi optimum yang mendukung penyerapan ion logam Cu^{2+} tanpa adanya kompetisi dari ion H^+ terhadap permukaan adsorben. Metode kolom menunjukkan kapasitas penyerapan, dengan nilai tertinggi mencapai 1.424 mg/g dan terendah 1.4143 mg/g. Perbedaan tersebut bisa disebabkan oleh nilai konsentrasi awal (C_0) dan jumlah volume filtrat yang terukur. Kation Cu^{2+} yang telah diadsorpsi pada silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat selanjutnya akan didesorpsi.

3.2 Desorpsi Kation Tembaga pada Silika Gel-GPTMS Termodifikasi Sulfonat

3.2.1 Penentuan Jenis Pendesorpsi Kation Tembaga Pada Silika yang Teradsorpsi

Jenis agen desorpsi memiliki peran krusial dalam proses ini karena pilihan larutan yang digunakan akan memengaruhi seberapa efektif zat yang telah diserap dapat dilepaskan kembali. Hal ini memungkinkan kolom untuk digunakan ulang atau diregenerasi. Penelitian mengenai desorpsi kation tembaga Cu^{2+} menggunakan NaCl dan CaCl_2 sebagai agen desorpsi menunjukkan potensi interaksi pertukaran ion yang relevan. Larutan garam, terutama NaCl dan CaCl_2 , memiliki keunggulan dibandingkan dengan agen desorpsi lainnya, seperti efisiensi desorpsi yang tinggi, biaya yang rendah, serta minimnya perubahan sifat fisik dan kimia dari adsorben (Sastika, 2023).



Gambar 1. Grafik Variasi Agen Pendesorpsi

Tabel 2. Desorpsi Kation Cu^{2+} dengan Menggunakan NaCl dan CaCl_2

Jenis Eluen	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 0.025 M	14.370	0.396	0.1398	1.3982	97.29	8.461	0.0829	59.29
CaCl_2 0.025 M	14.370	0.409	0.1396	1.3969	97.21	13.430	0.1329	95.17

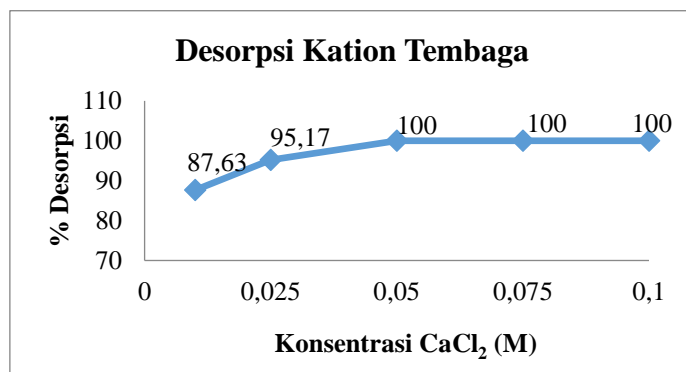
Adsorben yang telah digunakan dapat dimanfaatkan kembali dengan cara mendesorpsi kation tembaga (Cu^{2+}) yang terikat padanya menggunakan larutan 0,025 M NaCl dan 0,025 M CaCl_2 sebagai agen desorpsi. Hasil percobaan desorpsi menunjukkan bahwa CaCl_2 berhasil melepaskan lebih banyak kation tembaga, yaitu sebesar 0,1329 mg dari total 0,1396 mg kation tembaga yang teradsorpsi, dengan persentase desorpsi mencapai 95,17%. Hal ini disebabkan oleh kemampuan ion Ca^{2+} dalam CaCl_2 untuk melakukan pertukaran ion dengan tembaga yang terikat pada adsorben. Sebaliknya, NaCl hanya mampu melepaskan kation tembaga sebesar 0,0829 mg dari 0,1398 mg yang terserap, dengan persentase desorpsi 59,29%.

Berdasarkan penelitian ini, CaCl_2 terbukti lebih efektif sebagai eluen untuk mendesorpsi kation tembaga (Cu^{2+}) dibandingkan NaCl . Temuan ini sejalan dengan teori yang mengemukakan bahwa pada konsentrasi ion rendah dan suhu normal, pertukaran ion cenderung meningkat dengan valensi ion yang lebih tinggi, seperti $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$. Hal ini juga konsisten dengan urutan afinitas ion positif terhadap resin, dimulai dari yang paling besar hingga yang paling kecil: Ca^+ , Mg^+ , NH_4^+ , K^+ , Na^+ , dan H^+ (Pujiastuti et al., 2019).

Hasil ini menunjukkan bahwa ion dengan valensi yang lebih tinggi cenderung melakukan pertukaran ion lebih efektif. CaCl_2 , yang memiliki valensi lebih tinggi daripada NaCl , mampu menggantikan ion Cu^{2+} dengan lebih efisien karena keduanya memiliki muatan yang serupa. Ion Na^+ , yang memiliki muatan +1, memerlukan dua gugus fungsi positif untuk menetralkan muatannya agar berada dalam keadaan yang stabil. Hal ini menyebabkan NaCl memerlukan konsentrasi yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama untuk menggantikan Cu^{2+} dari adsorben. Di sisi lain, Ca^{2+} hanya memerlukan satu gugus fungsi positif untuk menetralkan muatannya (Widarti, 2015). Sebelumnya, dalam penelitian oleh (Wu et al., 2022), dilakukan proses desorpsi logam berat Cu menggunakan berbagai garam sebagai agen desorpsi dalam metode batch. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa CaCl_2 merupakan agen desorpsi yang paling efektif untuk melepaskan logam Cu, bahkan melampaui NaCl dan garam lainnya.

3.2.2 Pengaruh Konsentrasi Eluen Pendesorpsi Garam pada Desorpsi Kation Tembaga (Cu^{2+}) pada Silika Gel-GPTMS Termodifikasi Sulfonat

Proses desorpsi dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk konsentrasi dari agen desorpsi yang digunakan. Semakin rendah konsentrasi agen desorpsi, interaksi elektrostatis cenderung menjadi lebih lemah, sedangkan semakin tinggi konsentrasi, jumlah ion Ca^{2+} yang dapat melepaskan adsorben yang terikat akan meningkat (Sinaga, 2015). Dalam penelitian ini, desorpsi dilakukan menggunakan larutan desorpsi terbaik yang telah dipilih sebelumnya, yaitu CaCl_2 . Variasi konsentrasi yang digunakan mencakup 0,01 M, 0,025 M, 0,05 M, 0,075 M, dan 0,1 M.



Gambar 2. Grafik Variasi Konsentrasi CaCl_2 Sebagai Agen Pendesorpsi

Tabel 3. Variasi Konsentrasi CaCl_2 Sebagai Agen Pendesorpsi

Konsentrasi CaCl_2 (M)	Berat Teradsorpsi (mg)	Berat terdesorpsi (mg)	% Desorpsi
0.01	0.1332	0.1167	87.63
0.025	0.1396	0.1329	95.17
0.05	0.1425	0.1425	100
0.075	0.1424	0.1424	100
0.1	0.1397	0.1397	100

Dengan variasi konsentrasi yang digunakan, hasil desorpsi menunjukkan peningkatan terus-menerus hingga mencapai kondisi optimal pada konsentrasi 0,05 M. Pada titik ini, jumlah kation tembaga yang dilepaskan oleh CaCl_2 mencapai 0,1425 mg dengan persentase desorpsi mencapai 100%, menandakan bahwa semua kation tembaga yang sebelumnya terserap telah berhasil dilepaskan. Pada kondisi optimal ini, ion Ca^{2+} dari CaCl_2 berinteraksi atau melakukan pertukaran ion dengan kation Cu^{2+} yang terikat pada adsorben silika gel-GPTMS sulfonat. Semakin tinggi konsentrasi CaCl_2 yang digunakan, semakin banyak ion Ca^{2+} yang dilepaskan dari CaCl_2 untuk menggantikan kation Cu^{2+} yang terikat pada adsorben, sehingga jumlah kation yang terdesorpsi juga meningkat. Sebaliknya, semakin rendah konsentrasi CaCl_2 sebagai agen desorpsi, interaksi elektrostatisnya cenderung menurun (Sinaga, 2015).

Pada peningkatan konsentrasi hingga mencapai 0,075 M dan 0,1 M, hasil desorpsi tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan lagi. Hal ini disebabkan oleh mencapai keadaan keseimbangan pada kondisi tersebut, di mana proses desorpsi telah melepaskan semua kation yang terikat pada silika dan telah terjadi pertukaran kation Cu^{2+} dengan ion Ca^{2+} . Menurut (Patel, 2021) konsentrasi agen pendesorpsi adalah salah satu faktor mempengaruhi hasil desorpsi. Konsentrasi yang sangat tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur adsorben dan menghambat

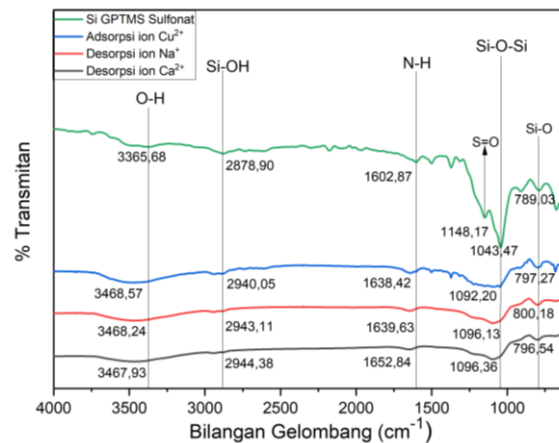
pertukaran ion yang efisien. Konsentrasi optimal eluen biasanya berada pada tingkat menengah, tidak terlalu rendah atau terlalu tinggi. Konsentrasi yang terlalu rendah dapat menghambat proses desorpsi dan memerlukan volume eluen yang lebih besar. Sebaliknya, konsentrasi yang terlalu tinggi dapat mengganggu struktur adsorben, yang pada akhirnya akan memperlambat proses desorpsi (Indah, 2014).

Temuan dari penelitian ini berhasil karena konsisten dengan teori yang menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi agen desorpsi yang digunakan, semakin kuat kemampuannya dalam menghancurkan ikatan kimia atau melepaskan adsorben (Sinaga, 2015).

3.3 Karakterisasi Menggunakan FTIR

FTIR adalah sebuah teknik analisis yang sangat penting dalam mendeteksi getaran gugus fungsi yang terdapat pada permukaan adsorben. Penggunaan FTIR untuk karakterisasi bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang ada pada silika, yang memainkan peran krusial dalam penyerapan ion-ion. Selain itu, penyerapan ion-ion dipengaruhi oleh jumlah gugus fungsi, proses interaksi kimia, struktur molekul, dan juga afinitas silika terhadap kation Cu^{2+} . Rentang bilangan gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$.

Karakterisasi FTIR dilakukan pada silika gel-GPTMS Sulfonat untuk mengevaluasi keberadaan gugus fungsi dan perubahan struktural yang terjadi pada silika. Pada silika gel-GPTMS Sulfonat yang telah menyerap kation tembaga, FTIR digunakan untuk mempelajari perubahan gugus fungsi dan struktur setelah proses adsorpsi. Begitu pula pada silika gel-GPTMS Sulfonat setelah proses desorpsi dengan kation natrium dan kalsium, karakterisasi dilakukan untuk mengamati perubahan gugus fungsi dan struktur yang terjadi pada silika. Gambar hasil karakterisasi tersebut dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3. Spektrum FTIR (a) Silika Gel-GPTMS termodifikasi sulfonat, (b) Silika termodifikasi sulfonat setelah adsorpsi Cu^{2+} , (c) Silika termodifikasi sulfonat setelah desorpsi dengan NaCl , dan (d) Silika termodifikasi sulfonat setelah desorpsi dengan CaCl_2 .

Dari grafik tersebut, dapat dilihat spektrum FTIR pada silika gel-GPTMS Sulfonat menunjukkan keberadaan gugus Si-O-Si pada bilangan gelombang $1043,74\text{ cm}^{-1}$ dan gugus Si-OH pada $2878,90\text{ cm}^{-1}$, yang berasal dari struktur silika gel. Setelah proses adsorpsi kation Cu^{2+} , terjadi perubahan pada bilangan gelombang gugus Si-O-Si menjadi $1092,20\text{ cm}^{-1}$ dan gugus Si-OH menjadi $2940,05\text{ cm}^{-1}$ pada silika sulfonat.

Kemudian, pada spektrum silika GPTMS sulfonat setelah proses desorpsi kation Cu^{2+} dengan NaCl , terjadi pergeseran pada bilangan gelombang gugus Si-O-Si menjadi $1096,13\text{ cm}^{-1}$ dan gugus Si-OH menjadi $2943,11\text{ cm}^{-1}$. Pada silika GPTMS sulfonat setelah proses desorpsi kation Cu^{2+} dengan CaCl_2 , terjadi perubahan bilangan gelombang gugus Si-O-Si menjadi $1096,36\text{ cm}^{-1}$ dan gugus Si-OH menjadi $2944,38\text{ cm}^{-1}$. Pada bilangan gelombang $789,03\text{ cm}^{-1}$, terlihat vibrasi regangan Si-O dari ikatan Si-O-Si (Dash et al., 2008).

Kemudian, dalam spektrum setelah proses adsorpsi terlihat pergeseran pada bilangan gelombang yang menunjukkan keberadaan ikatan Si-O, yaitu pada $797,27\text{ cm}^{-1}$. Setelah proses desorpsi dengan NaCl dan CaCl_2 , terlihat perubahan pada bilangan gelombang Si-O dari Si-O-Si menjadi $800,18\text{ cm}^{-1}$ dan $796,54\text{ cm}^{-1}$ (Nur'aeni et al., 2019). Pada puncak $1148,17\text{ cm}^{-1}$ 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 Cu^{2+} , terjadi pergeseran pada bilangan gelombang gugus OH menjadi $3468,57\text{ cm}^{-1}$. Setelah proses desorpsi Cu^{2+} dengan NaCl dan CaCl_2 , terlihat perubahan pada bilangan

gelombang gugus OH menjadi 3468,24 cm⁻¹ dan 3467,93 cm⁻¹. Terdapatnya gugus N-H (amina primer) pada bilangan gelombang 1602,87 cm⁻¹ merupakan indikasi adanya ikatan garam sulfonat pada silika gel-GPTMS. Pita amina primer ini umumnya muncul dalam rentang bilangan gelombang 1620-1560 cm⁻¹ (Azmiyawati, 2004). Pada silika sulfonat setelah proses adsorpsi kation Cu²⁺, terjadi pergeseran bilangan gelombang pada gugus N-H menjadi 1638,42 cm⁻¹, sedangkan pada proses desorpsi Cu²⁺ dengan NaCl dan CaCl₂ bilangan gelombang pada gugus N-H menjadi 1639,63 cm⁻¹ dan 1652,84 cm⁻¹ (Pertama et al., 2014).

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penggunaan CaCl₂ 0,025 M sebagai pendesorpsi kation tembaga melepaskan kation tembaga sebanyak 0,1329 mg dengan persentase desorpsi sebesar 95,17%, sedangkan penggunaan NaCl 0,025 M melepaskan kation tembaga sebanyak 0,0829 mg dengan persentase desorpsi 59,29%.
2. CaCl₂ sebagai agen pendesorpsi kation tembaga pada konsentrasi optimum 0,05 M dapat melepaskan sebanyak 0,1425 mg kation tembaga dengan persentase desorpsi 100%.

4.2 Saran

Saran untuk peneliti selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Meneliti penggunaan jenis pendesorpsi selain NaCl dan CaCl₂ yang mungkin dapat meningkatkan laju pelepasan kation tembaga.
2. Memperhitungkan penggunaan jenis pendesorpsi selain garam, seperti asam atau basa, untuk mengevaluasi kemungkinan pelepasan kation tembaga yang lebih efektif.

5. DAFTAR PUSTAKA

- 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>
- Azmiyawati, C. (2004). Modifikasi Silika Gel dengan Gugus Sulfonat untuk Meningkatkan Kapasitas Adsorpsi Mg(II). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 7(1), 10–16. <https://doi.org/10.14710/jksa.7.1.10-16>
- Cyprianus, S., & Muzakky, M. (2010). Proses Desorpsi Logam Berat Pada Sedimen Sungai Daerah Muria Dengan Pelarut Asam. *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir*, 13(1), 11–18. <https://doi.org/10.17146/gnd.2010.13.1.42>
- Dash, S., Mishra, S., Patel, S., & Mishra, B. K. (2008). Organically modified silica: Synthesis and applications due to its surface interaction with organic molecules. *Advances in Colloid and Interface Science*, 140(2), 77–94. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2007.12.006>
- Indah, S. (2014). Studi Regenerasi Adsorben Kulit Jagung (*Zea Mays L.*) Dalam Menyisihkan Logam Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Dari Air Tanah. *Jurnal Dampak*, 11(1), 48. <https://doi.org/10.25077/dampak.11.1.48-58.2014>
- Kardi, R. P. (2019). *Pembuatan Kolom Monolit Methacrylate Polimer-Based Modifikasi Dimetilamina dan Dietilamina untuk Analisa Ion Nitrit dan Nitrat*. Universitas Negeri Padang.
- Kumar, G. P., Kumar, P. A., Chakraborty, S., & Ray, M. (2007). Uptake and desorption of copper ion using functionalized polymer coated silica gel in aqueous environment. *Separation and Purification Technology*, 57(1), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.03.003>
- Kurnia Sari, E., Azmiyawati, C., & Taslimah, T. (2010). Modifikasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi dengan γ -Glycidoxypropyltrimethoxysilane dan Mercaptobenzothiazole untuk Adsorpsi Logam Kadmium(II). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 13(3), 71–75. <https://doi.org/10.14710/jksa.13.3.71-75>
- Mardhatillah, L. A., & Oktavia, B. (2023). *Optimasi Adsorpsi Ion Logam Ag + Pada Silika Gel GPTMS Termodifikasi Gugus Sulfonat Program Studi Kimia, Universitas Negeri Padang*, 7, 24774–24779.
- Maregianti, M., Wardani, G. A., & Wulandari, W. T. (2021). Adsorpsi senyawa antibiotik tetrasiklin hidrolirida menggunakan limbah serbuk gergaji dengan metode kolom. *Prosiding Seminar Nasional Diseminasi Penelitian, September*, 115–121.
- Marlina, D. (2022). *Penentuan Kondisi Optimum Desorpsi Anion Nitrit Dari Adsorben Silika Mesopori Termodifikasi DMA (Dimethylamine)*. Universitas Negeri Padang.
- 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>
- Nur'aeni, D., Hadisantoso, E. P., & Suhendar, D. (2019). Adsorpsi Ion Logam Mn²⁺ dan Cu²⁺ Oleh Silika Gel dari Abu Ampas Tebu. *Al-Kimiya*, 4(2), 70–80. <https://doi.org/10.15575/ak.v4i2.5087>
- 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>

- Pertama, I. S., Zahara, T. A., & Wahyuni, N. (2014). Optimasi Waktu dan Suhu Pengeringan Modifikasi Silika Gel Berbahan Dasar Abu Sekam Padi dengan Tributylamina. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 3(4), 39–45.
- Pujiastuti, C., Ngatilah, Y., Sumada, K., Putri, D. I., & Nur, I. (2019). *Removal Impurities Garam Dengan Metode*. 5(1).
- Purnawan, C., Martini, T., & Rini, I. P. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Silika Abu Ampas Tebu Termodifikasi Arginin sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 14(2), 333. <https://doi.org/10.20961/alchemy.14.2.19512.334-349>
- Putri, N. O., Ramadhanti, A. P., Widodo, L. U., Pujiastuti, C., & Timur, J. (2023). *Pemisahan Ion Logam Perak Nitrat Dari Limbah Cair Separation Of Silver Nitrate Metal Ions From Photography Washing Liquid Waste Through Ion*. 17(2), 61–64.
- Sastika, A. A. (2023). *CHEDS : Journal of Chemistry , Education , and Science Desorpsi Anion Klorida Dari Silika Gel Termodifikasi Dimetilamin (DMA)*. 7(1), 24–29.
- Sefriani, R., & Oktavia, B. (2021). Modification of natural silica using dimethylamine and the application as a phosphate ion absorption. *Journal of Physics: Conference Series*, 1788(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1788/1/012015>
- Setiowati, F. S., Oktavia, B., Sanjaya, H., & Putra, A. (2023). *Pengaruh pH dan Waktu Kontak Terhadap Penyerapan Ion Cu (II) Menggunakan Silika Gel – GPTMS Termodifikasi Sulfonat*. 10(1), 1–4.
- Sinaga, R. S. (2015). ADSORPSI SENG (II) OLEH BIOMASSA *Azolla microphylla* DIESTERIFIKASI DENGAN ASAM SITRAT : KAJIAN DESORPSI MENGGUNAKAN LARUTAN HCl. *KIMIA.STUDENTJOURNAL*, Vol.1, No. 1, Pp. 629 - 635, 1(1), 629–635.
- Sobirin, M., Soegianto, A., & Irawan, B. (2014). Pengaruh Beberapa Salinitas Terhadap Osmoregulasi Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 17(2), 46–50.
- 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.
- Widarti, S. (2015). Pengaruh Laju Alir Terhadap Efisiensi Kolom Resin Penukar Kation Komersil dan Adsorpsi Ion Logam Berbeda Muatan. *Sigma-Mu*, 7(1), 1–6.
- 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>