

**DESORPSI NITRAT (NO_3^-) DARI SILIKA GEL TERMODIFIKASI
DIMETILAMINA (DMA) MENGGUNAKAN ELUEN ASAM*****DESORPTION NITRATE (NO_3^-) FROM SILICA GEL MODIFIED BY
DIMETHYLAMINE (DMA) WITH ACID ELUENT*****Desvila Ramadha Yanti, Budhi Oktavia***Universitas Negeri Padang, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Departemen Kimia
Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Indonesia*Corresponding author: budhioktavia@fmipa.unp.ac.id**ABSTRAK**

Desorpsi merupakan proses terlepasnya baik ion ataupun molekul yang menempel atau terserap pada adsorben. Proses ini dimanfaatkan dalam regenerasi suatu adsorben agar adsorben dapat digunakan kembali saat sudah jenuh. Pada penelitian ini, desorpsi dilakukan terhadap anion nitrat yang telah terserap pada adsorben berupa silika gel yang termodifikasi DMA menggunakan metode kolom. Tujuan dilakukan penelitian ialah untuk melihat eluen mana yang memberikan persen desorpsi lebih tinggi antara H_3PO_4 0,03 M dan H_2SO_4 0,03 M, lalu eluen dengan persen desorpsi lebih tinggi ini ditentukan konsentrasi optimumnya dalam mendesorpsi. Berdasarkan eluen yang diuji, H_2SO_4 memiliki persen desorpsi yang lebih tinggi yaitu 66,22%, sedangkan H_3PO_4 62,41%. Pada variasi konsentrasi H_2SO_4 didapatkan kondisi optimum pada 0,10 M dengan persen desorpsi 80,89% atau melepaskan 0,0684 mg NO^- dari 0,0851 yang terserap pada silika gel termodifikasi DMA.

Kata kunci: desorpsi; nitrat; silika gel modifikasi DMA; pertukaran ion; eluen asam**ABSTRACT**

Desorption is the process of releasing both ions and molecules attached to or adsorbed on the adsorbent. This process is used for regeneration of an adsorbent so that the adsorbent can be reused when it is saturated. In this study, desorption was carried out on the nitrate anion adsorbed on the silica gel modified by DMA using the column method. The aim of the study was to see which eluent gave a higher percentage of desorption between H_3PO_4 0.03 M and H_2SO_4 0.03 M, then the eluent with a higher desorption percentage determined the optimum concentration for desorption. Based on the tested eluent, H_2SO_4 had a higher desorption percentage of 66.22%, while H_3PO_4 was 62.41%. In the variation of H_2SO_4 concentration, the optimum condition was found at 0.10 M with 80.89% desorption percent or released 0.0684 mg of NO^- from 0.0851 mg was adsorbed on DMA-modified silica gel.

Keywords: desorption; nitrate; silica gel modified by DMA; ion exchange; acid eluent

1. PENDAHULUAN

Nitrat merupakan ion yang stabil dan sangat mudah larut, maka hal inilah yang membuat ia sulit dipisahkan dengan proses-proses konvensional. Berbagai teknologi seperti denitrifikasi kimia dan biologi, *reverse osmosis*, *electro dialysis*, pertukaran ion dan adsorpsi telah dilakukan dalam pemisahan. Proses adsorpsi memiliki keuntungan sebab biaya yang murah, energi yang dibutuhkan rendah, kesederhanaan desain dan kemungkinan penggunaan kembali adsorben dengan luas permukaan yang aktif yang tinggi seperti karbon aktif, zeolite alam, silika terfungsionalisasi ammonium (Gouran-orimi & Mirzayi, 2018). Zeolit alam sangat bagus dalam adsorpsi pada tekanan rendah, akan tetapi pada tahap desorpsi membutuhkan suhu yang tinggi untuk mendesorpsi adsorbat (Nam, 2012). Karbon aktif cukup efisien dalam mengadsorpsi dalam keadaan masih fresh, namun regenerasi atau penggunaan berulang karbon aktif dapat mengurangi kemampuannya sebagai adsorben (Mahajan, 2006).

Silika yang dimodifikasi dengan terfungsionalisasi gugus amina telah banyak digunakan sebagai adsorben dalam penyerapan anion. Pada 2021, Arianti & Oktavia telah melakukan penelitian adsorpsi ion nitrat dan nitrit menggunakan silika termodifikasi dengan dimetilamina (DMA) sebagai adsorben. DMA ini bertindak sebagai gugus fungsi dalam pertukaran anion. Silika termodifikasi ini memiliki kapasitas adsorpsi 1,0781 mg/g terhadap ion nitrat, namun jika adsorben yang digunakan merupakan silika yang belum dimodifikasi kapasitas adsorpsinya hanya 0,0490 (Arianti & Oktavia, 2021).

Pada proses adsorpsi, adsorben menjadi jenuh setelah beberapa waktu karena semua situs penyerapan sudah penuh, dengan demikian adsorpsi sudah mencapai kesetimbangan adsorpsi. Setelah itu, adsorben menjadi tidak aktif sama sekali. Adsorben bekas yang dihasilkan menjadi kelemahan utama dari proses ini karena dianggap limbah padat yang berbahaya, dan apabila dibuang ke TPA (tempat pembuangan akhir) akan mencemari sumber air bawah tanah. Masalah limbah ini dapat diatasi dengan melakukan regenerasi terhadap adsorben. Salah satu proses regenerasi yang ekonomis namun efektif adalah proses desorpsi (Patel, 2021). Desorpsi merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk melepaskan suatu adsorbat dari adsorben (Nurul Aini et al., 2017). Regenerasi ini dapat mengurangi kebutuhan adsorben baru dan juga untuk mengurangi masalah pembuangan adsorben bekas (Kulkarni & Kaware, 2014). Proses desorpsi dapat dilakukan dengan memberikan eluen yang cocok pada adsorben yang menyerap adsorbat (Patel, 2021).

Menurut Patel (2021) pelarut atau eluen yang bisa digunakan dalam desorpsi ialah asam, garam, dan basa. Pelarut basa tidak cocok digunakan pada adsorben dengan matriks yang memiliki pendukung utamanyasilika karena persyaratan stabilitas pH (Dufresne, 1998). Apabila digunakan pH diatas 7,5 maka struktur dari silika dapat rusak. Pelarut asam lebih baik digunakan karena asam dapat terionisasi menghasilkan ion H^+ . ion H^+ atau proton memiliki keelektropositifan yang tinggi sehingga bisa mendesorpsi anion lebih baik. Dalam proses desorpsi ini dapat berlangsung akibat adanya pertukaran ion (Pohan, 2016).

Pertukaran ion (*ion exchange*) merupakan reaksi reversibel dimana ion bermuatan yang ada dalam larutan digantikan oleh ion bermuatan serupa yang ada dalam bahan penukar yang tidak (S. Jafarnejad, 2017). Pertukaran ion banyak digunakan untuk menghilangkan garam anorganik dan komponen anion organik. Resin penukar ion dapat diklasifikasikan berdasarkan gugus fungsinya, yaitu resin penukar anion, resin penukar kation, dan resin penukar khelat (Kumar & Saravanan, 2017). Pertukaran ion menggunakan sorben berpori padat yang memiliki anion atau kation dalam pori-pori yang relative longgar. Kation dan anion dapat ditukar dengan anion atau kation dalam larutan yang dilewatkan pada bahan penukar ion (resin). Kontak antara larutan dan bahan penukar ion biasanya dilakukan dalam kolom, dimana larutan mengalir baik ke atas atau ke bawah melalui *bed* pertukaran ion (Arm & Phillips, 2011). Kinerja resin penukar anion umumnya bergantung pada densitas dan jenis gugus penukar ion (yaitu, gugus amino), luas permukaan spesifik, dan jenis kelompok fungsional dan *counterions* (Kim et al., 2012). Metode pertukaran ion ini sering digunakan dalam prosedur prakonsentrasi untuk meningkatkan sensitivitas teknis analisis dimana eluen yang digunakan untuk mengelusi tidak mempengaruhi analisis berikutnya (Novič et al., 2001)

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode kolom.

2.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang

2.3 Target/Subjek Penelitian

Variabel pada penilaian ini berupa:

- Variabel kontrol
 - Silika gel termodifikasi DMA yang telah mengadsorpsi nitrat
 - Volume pelarut yang digunakan
- Variabel bebas
 - Variasi jenis pelarut : H_3PO_4 dan H_2SO_4
 - Variasi konsentrasi pelarut: 0,05 M, 0,07 M, 0,10 M, 0,15 M, dan 0,20 M
- Variabel terikat
 - Jumlah nitrat yang terdesorpsi

2.4 Prosedur

• Pembuatan silika gel termodifikasi DMA

Menambahkan 25 ml *3-glycidoxypropyltrimethoxysilane* (GPTMS) dan 87,5 mL toluene ke dalam 25 gram silika gel. Lalu memanaskannya pada suhu $90^\circ C$ menggunakan pengadukan konstan selama 24 jam. Kemudian dicuci dengan 12,5 mL methanol. Silika-GPTMS kemudian terbentuk dan ditimbang sebanyak 23 gram kemudian ditambahkan 11,5 mL DMA yang sebelumnya telah dilarutkan dengan 11,5 mL etanol (1:1 v/v). Selanjutnya campuran dipanaskan pada suhu $80^\circ C$ sambil diadukselama 24 jam dan mencucinya menggunakan methanol. kemudian melakukan karakterisasi dengan FTIR (Arianti & Oktavia, 2021).

• Adsorpsi Nitrat

Menimbang 0,5 gram silika gel termodifikasi dan memasukkannya ke dalam kolom. Lalu mengalirkan 10 mL larutan yang mengandung anion nitrat, sesuai kondisi optimum oleh Nahari (2022) dengan pH 7 dan konsentrasi 20 ppm dengan dengan laju alir 0,5 mL/menit, dan akan didapatkan filtrat yang berisi anion nitrat. Sebagian anion nitrat akan terserap pada silika yang ada dalam kolom yang mana akan digunakan pada tahap desorpsi. Anion yang tidak terserap diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Adsorben yang telah menyerap nitrat dikarakterisasi dengan FTIR.

• Penentuan Jenis Pelarut terhadap Proses Desorpsi

Sebanyak 10 mL H_3PO_4 (pelarut atau pendesorpsi anion nitrat) dengan konsentrasi 0,03 M ke dalam kolom yang telah berisi 0,5 gram silika gel termodifikasi sebagai fasa diam dengan memberi laju alir 0,5 mL/menit. Prosedur ini dilakukan juga untuk pelarut H_2SO_4 dengan jumlah dan konsentrasi yang sama. Eluat yang diperoleh di ukur absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis menggunakan metode LCK 339 pada panjang gelombang 325 nm.

• Penentuan Kondisi Optimum Pelarut terhadap Proses Desorpsi

Sebanyak 10 mL pendesorpsi dengan variasi konsentrasi 0,05 M, 0,07 M, 0,1 M, 0,15 M, dan 0,2 M dimasukkan ke dalam kolom dengan laju alir 0,5 mL/menit. Setelah eluat

didapatkan, maka dilakukan pengukuran absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 325 nm. Pada kondisi optimum yang didapatkan silika modifikasi yang dipakai dikarakterisasi dengan FTIR.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Adsorpsi Nitrat

Adsorpsi menggunakan metode kolom ini dilakukan pada kondisi pH dan konsentrasi optimum. pH yang digunakan ialah 6-8 dan konsentrasi 20 mg/L. Apabila pH yang digunakan lebih tinggi akan terjadi kompetisi antara anion nitrat dengan OH^- sehingga jumlah nitrat yang teradsorpsi akan menurun (Sowmya & Meenakshi, 2013). Sedangkan pada pH yang lebih rendah ion H^+ pada permukaan adsorben mengalami peningkatan, maka akan menyebabkan adanya kekuatan ikatan elektrostatis meningkat pada permukaan adsorben (Arianti & Oktavia, 2021). Selain pH, konsentrasi mempengaruhi kemampuan adsorpsi, dimana penyerapan akan optimal apabila ketika semua situs penyerapan sudah jenuh, sehingga apabila konsentrasi nitrat tetap ditingkatkan tidak akan merubah kapasitas adsorpsi.

Tabel 1. Hasil Adsorpsi Anion Nitrat NO_3^-

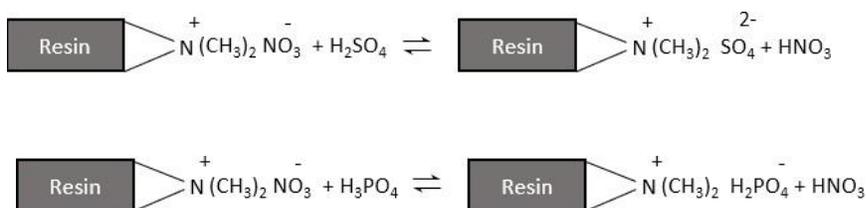
| NO_3^- teradsorpsi (mg/L) | NO_3^- teradsorpsi (mg) | Q_e (mg/g) | Eluen desorpsi |
|------------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------------------------|
| 8,794 | 0,0902 | 0,1804 | H_3PO_4 0,03 M |
| 8,667 | 0,0901 | 0,1803 | H_2SO_4 0,03 M |
| 8,847 | 0,0924 | 0,1848 | H_2SO_4 0,05 M |
| 8,900 | 0,0900 | 0,1800 | H_2SO_4 0,07 M |
| 8,489 | 0,0851 | 0,1703 | H_2SO_4 0,10 M |
| 8,440 | 0,0839 | 0,1678 | H_2SO_4 0,15 M |
| 8,219 | 0,0844 | 0,1688 | H_2SO_4 0,20 M |

Hasil adsorpsi menggunakan metode kolom dapat dilihat pada Tabel 1. Kapasitas serapan paling besar ialah 0,1847504 mg/g dan terendah pada 0,168776 mg/g. Perbedaan nilai ini dapat dipengaruhi oleh konsentrasi awal (C_0) dan perbedaan volume eluat yang dihitung. Masing-masing proses adsorpsi tersebut akan dilanjutkan dengan prosedur desorpsi menggunakan eluen asam dengan berbagai konsentrasi sesuai Tabel 3.

3.2 Desorpsi Nitrat

Anion nitrat yang telah terserap pada proses adsorpsi dilanjutkan dengan proses desorpsi menggunakan dua eluen yang berbeda yaitu H_3PO_4 dan H_2SO_4 . Eluen yang terbaik ditentukan dengan lebih tingginya % desorpsi atau lebih banyaknya jumlah NO_3^- yang terlepas dari adsorben. Penentuan ini diujikandengan masing-masing konsentrasi eluen 0,03 M.

H_3PO_4 dan H_2SO_4 merupakan eluen yang bersifat asam. Eluen asam dipilih sebagai agen pendesorpsi karena asam dapat membuat pH mengalami penurunan yang dapat mengakibatkan meningkatnya jumlah muatan positif pada permukaan silika yang diakibatkan oleh adanya proton dari asam. Sehingga bisa mengganggu interaksi antara anion dan muatan positif pada silika (Aldor et al., 1995). Pernyataan ini berhubungan dengan hasil optimasi pH pada penelitian Arianti & Oktavia (2021), dimana terlihat pada penyerapan anion NO_3^- pada pH dibawah 6 jumlah serapan anion rendah. Maka oleh sebab inilah dilakukandesorpsi pada pH rendah.



Gambar 1. Reaksi Pertukaran Anion Nitrat

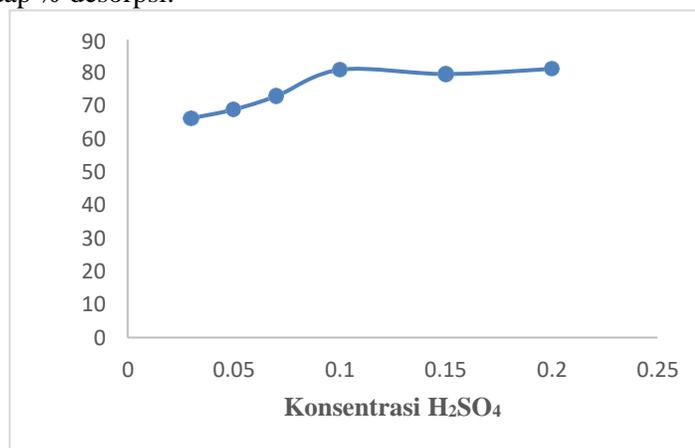
Pelepasan anion NO_3^- yang terikat secara elektrostatis yang terikat pada gugus amina pada silika merupakan akibat adanya anion lain. Serta adanya ion H^+ dari masing-masing asam berperan sebagai spesi yang menggantikan muatan positif dari gugus amina (adsorben) untuk berikatan dengan NO_3^- . Sedangkan NO_3^- yang terikat pada muatan positif adsorben digantikan oleh anion SO_4^{2-} yang berasal dari H_2SO_4 atau anion yang H_2PO_4^- yang berasal dari H_3PO_4 (pH 2). Reaksi pertukaran ion ini dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan persentase desorpsi NO_3^- , pemilihan eluen H_2SO_4 lebih efisien sebab persentase desorpsi 66,41% sedangkan eluen H_3PO_4 hanya 62,41%.

Tabel 2. Desorpsi Anion Nitrat dengan Eluen Asam

| Eluen | NO_3^- terdesorpsi (mg/L) | NO_3^- terdesorpsi (mg) | % Desorpsi |
|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------|
| H_3PO_4 0,03 M | 5,745 | 0,0563 | 62,41 |
| H_2SO_4 0,03 M | 6,154 | 0,0597 | 66,22 |

Berdasarkan Tabel 2, eluen H_2SO_4 memberikan hasil desorpsi yang lebih tinggi sebab asam ini merupakan asam kuat dimana akan terionisasi sempurna dalam air (Wardani & Arifiyana, 2020). Sehingga jumlah ion yang berperan dalam pertukaran anion menggantikan NO_3^- lebih banyak. Namun, pada eluen H_3PO_4 merupakan asam lemah yang mana tidak terionisasi sempurna dalam air. Ini menandakan ada spesi H_3PO_4 dan H_2PO_4^- dalam air. Selain itu, menurut (Duan et al., 2020) faktor lain yang mempengaruhi efektivitas eluen ialah afinitas atau ketertarikan adsorben terhadap suatu ion. Maka jumlah anion yang menggantikan NO_3^- lebih sedikit dibandingkan menggunakan H_2SO_4 sebagai eluen.

Setelah didapatkan eluen yang lebih efisien dalam mendesorpsi nitrat, maka dilanjutkan dengan penentuan kondisi optimum eluen. Percobaan ini dilakukan dengan mengalirkan asam sulfat dengan variasi konsentrasi 0,03 M, 0,05 M, 0,07 M, 0,10 M, 0,15 M, 0,20 M ke dalam masing-masing kolom yang sudah mengadsorpsi anion nitrat. Tujuan dari perlakuan ini untuk melihat pengaruh perubahan konsentrasi eluen terhadap % desorpsi.



Gambar 2. Desorpsi Anion Nitrat dengan Variasi Konsentrasi Asam Sulfat

Tabel 3. Desorpsi Anion Nitrat dengan Variasi Konsentrasi Asam Sulfat

| Jenis Eluen | NO ₃ ⁻ terdesorpsi(mg/L) | NO ₃ ⁻ terdesorpsi(mg) | % Desorpsi |
|---------------------------------------|---|---|------------|
| H ₂ SO ₄ 0,03 M | 6,154 | 0,0596 | 66,22 |
| H ₂ SO ₄ 0,05 M | 6,428 | 0,0636 | 68,88 |
| H ₂ SO ₄ 0,07 M | 6,762 | 0,0655 | 72,90 |
| H ₂ SO ₄ 0,10 M | 7,028 | 0,0688 | 80,89 |
| H ₂ SO ₄ 0,15 M | 6,884 | 0,0667 | 79,60 |
| H ₂ SO ₄ 0,20 M | 6,984 | 0,0684 | 81,10 |

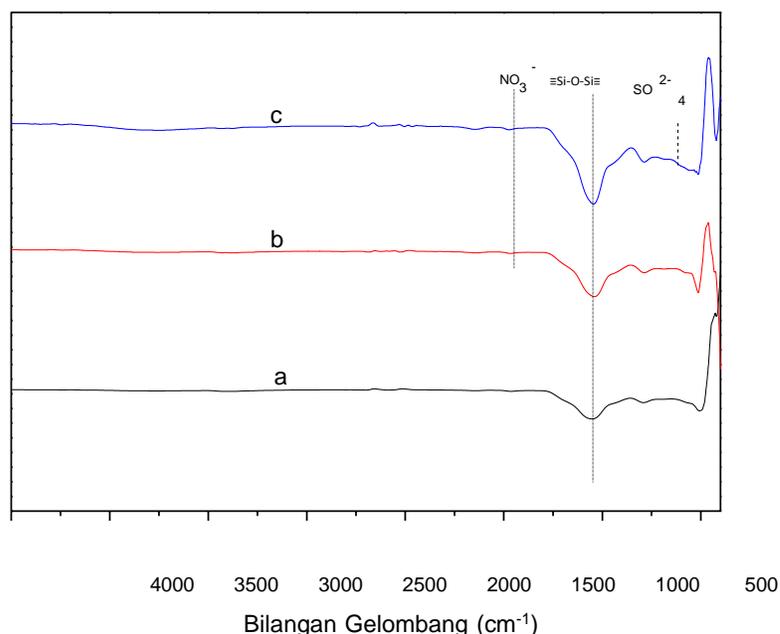
Hasil yang didapatkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3 dan grafik Gambar 2, dimana jumlah anion nitrat terlepas dari permukaan adsorben mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan konsentrasi, yaitu pada konsentrasi H₂SO₄ 0,03 hingga 0,10 M. Penggunaan H₂SO₄ 0,10 M merupakan kondisi optimum dilakukannya desorpsi dengan persentase desorpsi 80,89 %.

Kenaikan konsentrasi asam yang digunakan menyebabkan jumlah ion H⁺ dalam H₂SO₄ meningkat, sehingga dapat mengganggu interaksi antara NO⁻ dengan gugus amina yang berada pada permukaan adsorben. Hal ini sesuai dengan pendapat Pohan³ (2016) yaitu H⁺ lebih elektropositif dibandingkan dengan gugus penarik electron yang ada pada permukaan adsorben. Namun pada konsentrasi H₂SO₄ diatas 0,10 M jumlah anion nitrat yang terdesorpsi cenderung konstan. Ini menandakan bahwa kenaikan konsentrasi tidak mengubah efisiensi desorpsi. pada penggunaan H₂SO₄ 0,20 M, persentase desorpsi mengalami sedikit kenaikan namun jika dilihat dari jumlah NO⁻ yang terdesorpsi sebenarnya turun. Kenaikan persentase desorpsi ini terjadi karena pada proses adsorpsi jumlah NO⁻ lebih rendah (Tabel 1). Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi optimum H₂SO₄ sebagai eluen ialah 0,10 M.

Menurut Patel (2021) Konsentrasi eluen mempengaruhi desorpsi, karena pada konsentrasi tertentu adsorben dapat rusak, serta jika konsentrasi yang digunakan semakin rendah maka ion yang ingin didesorpsi sedikit terlepas dari adsorben/resin. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini sesuai dengan pendapat ini yaitu dengan adanya kenaikan konsentrasi dari eluen jumlah NO⁻ semakin banyak pula yang terlepas dari adsorben. Namun pada konsentrasi H₂SO₄ diatas 0,10 M³ tidak ada kenaikan hasil desorpsi, maka ada kemungkinan bahwa adsorben dari silika gel termodifikasi DMA dapat rusak pada oleh H₂SO₄ apabila konsentrasinya diatas 0,10 M.

3.3 Karakterisasi menggunakan Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Karakterisasi silika gel termodifikasi dengan DMA dilakukan untuk melihat gugus fungsi atau jenis ikatan yang ada, baik sebelum dilakukan adsorpsi, setelah adsorpsi maupun setelah desorpsi. Maka dilihat apakah ada terjadi perubahan pada serapan. Pengujian menggunakan FTIR ini dilakukan pada bilangan gelombang 4000-400 cm⁻¹. Pada Gambar 8, terlihat puncak utama dari spectra yang diyakini sebagai gugus fungsi dari vibrasi ulur gugus hidroksil (-OH) dari ≡Si-OH yang muncul pada bilangan gelombang 2870,53 cm⁻¹, 2870,88 cm⁻¹ (Fidalgo & Ilharco, 2001). Kemudian pada bilangan gelombang 790,80 cm⁻¹, 786,87 cm⁻¹, 787,05 cm⁻¹ menandakan ada kelompok C-H yang berasal dari gugus propil dari glisidokpropiltrimetoksisilan (GPTMS) yang terikat pada silika. Sehingga dapat diyakini terdapat gugus -OH (gugus hidroksil) yang menunjukkan ikatan ≡Si-OH atau silanol. Gugus lain yang terlihat ialah NO₃⁻ pada panjang gelombang 1447,96 menandakan proses adsorpsi pada silika gel termodifikasi DMA. Namun pada saat dilakukannya proses desorpsi menggunakan H₂SO₄ terlihat munculnya puncak baru pada 615,43.



Gambar 41. Spektrum FTIR (a) Silika Gel Termodifikasi DMA (b) Silika Gel Termodifikasi DMA Setelah Adsorpsi Nitrat (c) Silika Gel Termodifikasi DMA Setelah Desorpsi Nitrat

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Penggunaan H₂SO₄ sebagai eluen untuk desorpsi anion nitrat memberikan persentase yang lebih tinggi yaitu 66,22% dibandingkan H₃PO₄ dengan persen desorpsi 62,41%. Maka untuk mendapatkan hasil yang lebih efisien dilakukan variasi konsentrasi H₂SO₄. Dimana konsentrasi 0,10 ppm Eluen H₂SO₄ dapat mendesorpsi nitrat secara optimum, dimana persen desorpsinya 80,89% dari 0,0688 mg NO⁻ yang teradsorpsi.

4.2 Saran

Penggunaan eluen H₂SO₄ sebagai eluen pendesorpsi perlu dipelajari lebih lanjut untuk melihat pengaruh pada proses adsorpsi dan desorpsi berikutnya untuk menentukan apakah kapasitas adsorpsi dan kemampuan desorpsinya dan melihat berapa kali proses desorpsi boleh dilakukan terhadap silika gel termodifikasi dimetilamina (DMA).

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aldor, I., Fourest, E., & Volesky, B. (1995). Desorption of cadmium from algal biosorbent. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 73(4), 516–522. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450730412>
- 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>
- Arm, S., & Phillips, C. (2011). Chemical engineering for advanced aqueous radioactive materials

- separations. In *Advanced separation techniques for nuclear fuel reprocessing and radioactive waste treatment*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092274.1.58>
- Duan, S., Tong, T., Zheng, S., Zhang, X., & Li, S. (2020). Achieving low-cost, highly selective nitrate removal with standard anion exchange resin by tuning recycled brine composition. *Water Research*, 173, 115571. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115571>
- Dufresne, C. (1998). Isolation by Ion-Exchange Methods. *Natural Product Isolation*, 4, 141–164.
- Fidalgo, A., & Ilharco, L. M. (2001). The defect structure of sol-gel-derived silica/polytetrahydrofuran hybrid films by FTIR. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 283(1–3), 144–154. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(01\)00418-5](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(01)00418-5)
- Gouran-orimi, A. R., & Mirzayi, B. (2018). SC. *Biochemical Pharmacology*. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.049>
- Jafarinejad, S. (2017). 6 - *Treatment of Oily Wastewater* (S. B. T.-P. W. T. and P. C. Jafarinejad (ed.); pp. 185–267). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809243-9.00006-7>
- Kim, Y. S., Lee, Y. H., An, B., Sung-A Choi, Park, J. H., Jurng, J. S., Lee, S. H., & Choi, J. W. (2012). Simultaneous removal of phosphate and nitrate in wastewater using high-capacity anion-exchange resin. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(9), 5959–5966. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1331-1>
- Kumar, P. S., & Saravanan, A. (2017). 11 - Sustainable wastewater treatments in textile sector. In *Sustainable Fibres and Textiles*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102041-8.00011-1>
- Mahajan, S. . (2006). *Air Pollution Control*. TERI Press.
- Nahari, A. (2022). *Penentuan Kondisi Optimum untuk Penyerapan Anion Nitrat Menggunakan Silika Gel Dimodifikasi dengan GPTMS (Glisidoksi propil trimetoksilan) dan Dimetilamina*. Skripsi, tidak dipublikasikan. Universitas Negeri Padang.
- Novič, M., Guček, M., Turšič, J., Liu, Y., & Avdaloš, N. (2001). Ion-exchange-based eluent-free preconcentration of some anions. *Journal of Chromatography A*, 909(2), 289–296. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)01109-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)01109-2)
- Nurul Aini, Olyvia Putri Wardhani, & Iriany. (2017). Desorpsi B-Karoten Minyak Kelapa Sawit (Crude Palm Oil) Dari Karbon Aktif Menggunakan Isopropanol. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(4), 1–7. <https://doi.org/10.32734/jtk.v5i4.1547>
- 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>
- Pohan, M. S. A. (2016). Studi Adsorpsi-Desorpsi Anion Fosfat, Sulfat Dan Nitrat Pada Zeolit Termodifikasi Ctab. *Jurnal Penelitian Sains*, 18(September), 0–1.
- Sowmya, A., & Meenakshi, S. (2013). Removal of nitrate and phosphate anions from aqueous solutions using strong base anion exchange resin. *Desalination and Water Treatment*, 51(37–39), 7145–7156. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.771286>
- Wardani, R., & Arifiyana, D. (2020). *Suhu, Waktu dan Kelarutan Kalsium Oksalat pada Umbi Porang*. Penerbit Graniti.