

KONDISI OPTIMUM DESORPSI ANION NITRIT DARI SILIKA GEL TERMODIFIKASI DIMETILAMINA MENGGUNAKAN HCl DAN H₂SO₄

OPTIMUM CONDITIONS OF NITRITE ANION DESORPTION FROM DIMETHYLAMINE MODIFIED SILICA GEL USING HCl AND H₂SO₄

Febrina Maulana*, Budhi Oktavia

Universitas Negeri Padang, Departmen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jl. Prof. Hamka Air Tawar, Padang, Indonesia

*Corresponding author: febrinamaulana5@gmail.com

ABSTRAK

Silika merupakan senyawa terbanyak penyusun kerak bumi. Silika banyak dimanfaatkan sebagai adsorben, prekonsentrasi atau pemisahan analit. Modifikasi silika dengan dimetilamina mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi. Pada penelitian ini, dilakukan adsorpsi dan desorpsi anion nitrit pada silika termodifikasi dimetilamina (DMA) menggunakan metode kolom. Setelah anion nitrit diadsorpsi dilanjutkan dengan proses desorpsi yang bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum desorpsi anion nitrit dari silika gel termodifikasi DMA menggunakan eluen asam (HCl dan H₂SO₄). Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kapasitas adsorpsi pada silika sebesar 0,00908 mg/gr, berat anion nitrit yang terserap 0,00454 mg dengan persentase penyerapan sebesar 47,27%. Persentase desorpsi anion nitrit menggunakan HCl sebesar 78,32% dengan melepaskan anion nitrit sebanyak 0,003528 mg. Sedangkan persentase desorpsi anion nitrit menggunakan H₂SO₄ sebesar 50,30% dengan melepaskan anion nitrit sebanyak 0,002274 mg. Konsentrasi optimum HCl yaitu 0,05M, dapat melepaskan anion nitrit sebanyak 0,00425 mg dengan persentase desorpsi sebesar 92,45%.

Kata kunci: silika gel; dimetilamina; adsorpsi; desorpsi; nitrit.

ABSTRACT

Silica is the most abundant compound in the earth's crust. Silica is widely used as an adsorbent, preconcentration or separation of analytes. Silica modification with dimethylamine was able to increase the adsorption capacity. In this study, the adsorption and desorption of nitrite anions on dimethylamine modified silica (DMA) was carried out using the column method. After the nitrite anion was adsorbed, it was continued with the desorption process which aims to determine the optimum conditions for desorption of nitrite anion from DMA modified silica gel using acid eluents (HCl and H₂SO₄). Based on the results of the study, the adsorption capacity of silica was 0.00908 mg/gr, the weight of the adsorbed nitrite anion was 0.00454 mg with an absorption percentage of 47.27%. The percentage of nitrite anion desorption using HCl was 78.32% with 0.003528 mg of nitrite anion released. While the percentage of nitrite anion desorption using H₂SO₄ was 50.30% with the release of nitrite anion as much as 0.002274 mg. The optimum concentration of HCl is 0.05M, can release nitrite anion as much as 0.00425 mg with a desorption percentage of 92.45%.

Keywords: silica gel; dimethylamine; adsorption; desorption; nitrite.

1. PENDAHULUAN

Silika (SiO_2) merupakan senyawa terbanyak penyusun kerak bumi yaitu sebesar 60,6% dan bisa didapatkan dari pasir, batuan, maupun tanah (Dyana dan Triwikantoro, 2017). Silika merupakan suatu padatan berpori yang berstruktur kristalin di alam dan senyawa sintetisnya berbentuk amorf yang banyak dimanfaatkan sebagai adsorben karena silika mudah diproduksi dan memiliki kelebihan lainnya (Sulastri & Kristianingrum, 2010).

Silika memiliki sifat inert, stabilitas kimia yang sangat baik, harga lebih murah, ketahanan mekanik yang tinggi, dan luas permukaan yang besar (Trivana et al., 2015). Selain itu silika mudah dimodifikasi dengan senyawa kimia tertentu untuk meningkatkan kinerjanya, juga memiliki sifat adsorpsi dan pertukaran ion yang baik. Aplikasi silika dapat digunakan sebagai adsorben, prekonsentrasi atau pemisahan analit (Hardyanti et al., 2017).

Permukaan silika menyajikan reaktivitas kimia yang tinggi berdasarkan keberadaan gugus silanol (Si-OH), siloksan (Si-O-Si), saluran pori yang besar yang memungkinkan adsorpsi selektif pada adsorbat tertentu (Zhang et al., 2019). Efektivitas adsorpsi silika pada ion lemah, kelemahan silika sebagai adsorben dapat diperbaiki dengan beberapa upaya, antara lain dengan memodifikasi permukaan silika (Weni & Oktavia, 2021). Modifikasi silika bermanfaat untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi. Pada penelitian ini, silika dimodifikasi menggunakan (GPTMS) glisidokpropiltrimetoksisilan dan dimetilamina (DMA).

Nitrit (NO_2^-) adalah komponen alami dari nitrogen, nitrit di perairan secara alami berasal dari metabolisme organisme perairan dan dekomposisi bahan-bahan organik oleh bakteri. Kadar nitrit yang tinggi pada air minum dapat membahayakan kesehatan seperti *methemoglobinemia* pada bayi. Hal ini terjadi karena nitrit dapat membentuk senyawa N-nitroso yang bersifat karsinogenik, teratogenik, dan mutagenik (Setiowati et al., 2016). Konsentrasi nitrit yang meningkat dapat ditemukan dalam air yang mengandung limbah nitrogen, seperti limbah industri yang memproduksi logam, pewarna, dan seluloid (Kroupova et al., 2005).

Anion nitrit yang telah diadsorpsi pada silika termodifikasi dilanjutkan dengan proses desorpsi yang bertujuan untuk melepaskan anion nitrit yang terserap pada silika. Proses desorpsi dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum desorpsi anion nitrit dari silika gel termodifikasi DMA menggunakan eluen asam (HCl dan H_2SO_4).

Desorpsi merupakan proses terlepasnya partikel, ion, atau molekul yang terserap oleh adsorben. Desorpsi dilakukan dengan mereaksikan adsorben yang telah digunakan pada proses adsorpsi dengan zat pendesorpsi (eluen). Eluen yang dapat digunakan dapat berupa asam, netral, dan basa (Faudah, 2019). Pada penelitian ini, dilakukan desorpsi menggunakan metode kolom dan terjadi proses pertukaran ion. Prosedur pertukaran ion yang umum digunakan yaitu dengan melewati eluen secara terus menerus melalui kolom penukar ion hingga semua zat telah dihilangkan (Pinchukova et al., 2018). Pada metode kolom, eluen dilewatkan melalui adsorben pada laju alir yang telah ditentukan (Patel, 2021).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kolom.

2.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 7 bulan di Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

2.3 Target/Subjek Penelitian

Variabel dan Kondisi Proses

- Variabel tetap proses
 - Berat silika gel termodifikasi DMA

- Variabel berubah proses
 - Jenis eluen : HCl dan H₂SO₄
 - Variasi konsentrasi eluen : 0,01M, 0,03M, 0,05M, 0,1M, dan 0,15M

- Variabel Analisa
 - Kapasitas desorpsi

2.4 Prosedur

- **Modifikasi Silika dengan GPTMS-DMA**

Silika komersial ditimbang sebanyak 25 gram, kemudian ditambahkan 25 ml GPTMS dan 87,5 ml toluena. Campuran tersebut distirer selama 24 jam pada suhu 90°C. Endapan yang dihasilkan dicuci dengan 12,5 ml metanol. Silika-GPTMS ditimbang sebanyak 23 gram, kemudian dimodifikasi dengan menambahkan 11,5 ml DMA dan 11,5 ml etanol (v/v 1:1). Campuran tersebut distirer selama 24 jam pada suhu 70°C. Silika yang dimodifikasi kemudian di oven pada suhu 80 °C selama 4 jam dan dibilas dengan metanol. Silika gel termodifikasi DMA dikarakterisasi dengan FTIR dan digunakan untuk adsorpsi anion nitrit (Sefriani & Oktavia, 2021).
- **Adsorpsi Anion Nitrit pada Silika Gel Termodifikasi DMA**

Sebanyak 0,5 gram silika gel termodifikasi DMA dimasukkan ke dalam kolom. Kemudian melakukan proses adsorpsi dengan mengalirkan 10 ml larutan anion nitrit konsentrasi 1 ppm pH optimum 6 dengan menggunakan tekanan sehingga anion nitrit terserap. Anion nitrit yang terserap pada silika gel termodifikasi DMA akan digunakan pada proses desorpsi (Arianti & Oktavia, 2021).
- **Penentuan Jenis Eluen Desorpsi Anion Nitrit**
 - a. Sebanyak 10 ml larutan H₂SO₄ 0,1 M dialirkan ke dalam kolom yang telah berisi silika gel termodifikasi DMA dan telah mengadsorpsi anion nitrit yang berfungsi sebagai eluen pendesorpsi anion nitrit.
 - b. Sebanyak 10 ml larutan HCl 0,1 M dialirkan ke dalam kolom yang telah berisi silika gel termodifikasi DMA dan telah mengadsorpsi anion nitrit yang berfungsi sebagai eluen pendesorpsi anion nitrit.
- **Penentuan Konsentrasi Optimum Desorpsi Anion Nitrit**

Sebanyak 10 ml HCl dengan variasi konsentrasi eluen (0,01 M, 0,03 M, 0,05 M, dan 0,15 M) dialirkan ke dalam kolom yang telah berisi silika gel termodifikasi DMA dan telah mengadsorpsi anion nitrit yang berfungsi sebagai eluen pendesorpsi anion nitrit.
- **Pengujian Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis**

Filtrat yang telah diperoleh pada proses adsorpsi dan desorpsi dilakukan pengujian menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 540 nm sehingga diperoleh adsorbannya.
- **Karakterisasi Menggunakan FTIR**

Pengujian menggunakan instrumen FTIR dilakukan sebanyak 3 kali, yaitu pada silika gel termodifikasi DMA, silika gel termodifikasi DMA yang telah mengandung anion nitrit pada

proses adsorpsi, dan silika gel termodifikasi DMA yang telah mengandung anion nitrit pada proses adsorpsi dan telah didesorpsi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Adsorpsi Anion Nitrit pada Silika Termodifikasi DMA

Proses adsorpsi nitrit dilakukan dengan metode kolom menggunakan silika gel termodifikasi DMA sebagai adsorben. Metode kolom dilakukan dengan melewati 10 ml larutan anion nitrit konsentrasi 1 ppm, pH optimum 6 dengan menggunakan tekanan sehingga anion nitrit terserap pada silika gel termodifikasi DMA (Arianti & Oktavia, 2021).

Pada proses adsorpsi nitrit, terjadi gaya elektrostatis antara muatan positif dari gugus amina (N⁺) dengan muatan negatif dari anion nitrit (NO₂⁻) sehingga anion nitrit terikat pada silika gel termodifikasi DMA (Yuniarti, 2015). Gugus amina yang bermuatan positif dapat mengikat anion pada adsorben, sehingga terjadi proses adsorpsi (Mallik et al., 2022). Pada proses ini terjadi adsorpsi kimia (adsorpsi monolayer). Pada adsorpsi monolayer, semua molekul yang teradsorpsi bersentuhan dengan lapisan permukaan adsorben (Thommes et al., 2015).

Tabel 1. Adsorpsi anion nitrit

Teoritis (mg/L)	Adsorpsi (mg/L)	Adsorpsi (mg/g)	Adsorpsi (mg)	Efisiensi Adsorpsi (%)
1	0,468	0,00908	0,00454	47,27

Berdasarkan tabel di atas, kapasitas adsorpsi sebesar 0,00908 mg/gr, berat anion nitrit yang terserap 0,00454 mg dan persentase penyerapan sebesar 47,27%. Pada penelitian ini hanya setengah anion nitrit yang dapat terserap pada silika gel termodifikasi DMA. Hal ini terjadi karena permukaan silika gel termodifikasi DMA telah jenuh dengan anion nitrit yang menandakan kesetimbangannya telah tercapai sehingga adsorben tidak mampu lagi menyerap anion nitrit (Ngulube et al., 2017).

3.2 Desorpsi Anion Nitrit dari Silika Termodifikasi DMA

Desorpsi dilakukan menggunakan metode kolom, yaitu dengan melewati eluen secara terus menerus melalui kolom penukar ion pada adsorben dengan laju alir yang telah ditentukan hingga semua zat telah dihilangkan (Pinchukova et al., 2018). Eluen yang dapat digunakan dapat berupa asam, netral, dan basa (Faudah, 2019).

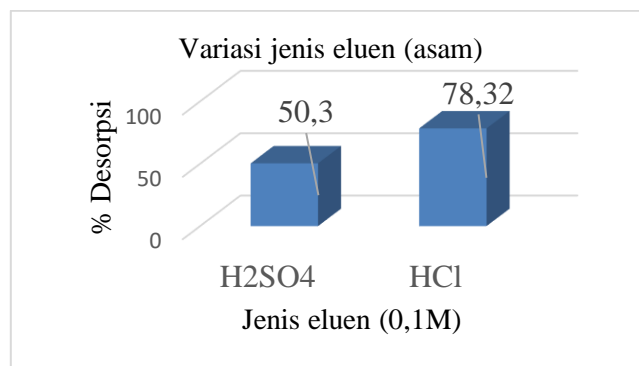
Pada eluen asam, proton-proton (H⁺) dalam larutan asam menggantikan ion-ion positif pada permukaan adsorben. Ion-ion H⁺ yang dilepaskan oleh HCl memiliki ikatan yang sangat kuat terhadap permukaan adsorben, dalam hal ini yaitu (N⁺). N⁺ yang lepas pada permukaan adsorben menyebabkan anion nitrit (NO₂⁻) juga terlepas sehingga digantikan oleh Cl⁻. Pada eluen basa, menghasilkan persentase desorpsi yang rendah karena gugus-gugus tersebut kurang terprotonasi sehingga ion-ion positif yang berikatan sulit terlepas dari adsorben (Pratiwi et al., 2019).

1. Penentuan Jenis Eluen

Pada penentuan jenis eluen digunakan 2 jenis asam yaitu asam sulfat (H₂SO₄) 0,1 M dan asam klorida (HCl) 0,1 M. Eluen yang digunakan sangat berpengaruh pada proses desorpsi, karena pemisahan antara adsorben dan adsorbat tergantung pada jenis eluen (Patel, 2021).

Tabel 2. Variasi jenis eluen (asam)

Eluen (Asam)	Desorpsi (mg/L)	Desorpsi (mg)	Persen Desorpsi (%)
H ₂ SO ₄	0,232	0,002274	50,30
HCl	0,360	0,003528	78,32



Gambar 1. Grafik variasi jenis eluen (asam)

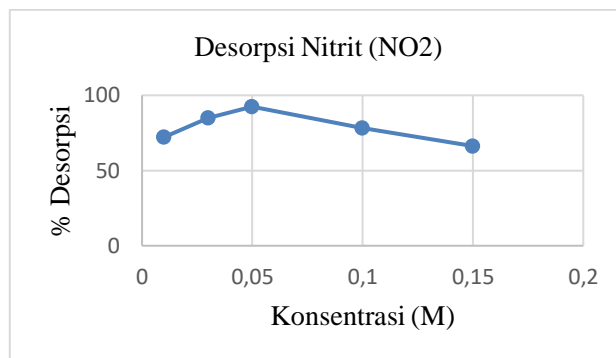
Berdasarkan grafik diatas, anion nitrit yang terserap pada silika gel termodifikasi DMA lebih banyak terdesorpsi menggunakan eluen HCl dibandingkan eluen H₂SO₄. Persentase desorpsi anion nitrit menggunakan HCl sebesar 78,32% dengan melepaskan anion nitrit sebanyak 0,003528 mg. Sedangkan persentase desorpsi anion nitrit menggunakan H₂SO₄ sebesar 50,30% dengan melepaskan anion nitrit sebanyak 0,002274 mg.

HCl lebih banyak mendesorpsi anion nitrit dibandingkan H₂SO₄ dikarenakan HCl merupakan asam yang lebih kuat daripada H₂SO₄. Kekuatan suatu asam dapat ditentukan dari nilai konstanta disosiasi asamnya (pKa), semakin kecil nilai pKa semakin banyak asam yang terdisosiasi, oleh karena itu lebih kuat suatu asam. HCl memiliki nilai pKa -7 sedangkan H₂SO₄ memiliki nilai pKa -3. Selain itu, kekuatan asam dapat ditentukan oleh kemampuan asam untuk melepaskan ion H⁺ ke medium. HCl lebih besar kemampuannya untuk melepaskan H⁺ dibandingkan H₂SO₄ melepaskan 2H⁺ ke medium. Kemampuan melepaskan H⁺ mengacu pada kecepatan melepaskan H⁺ ke medium (Muharrom, 2018).

2. Penentuan Variasi Konsentrasi

Tabel 3. Variasi konsentrasi HCl

Konsentrasi (M)	Desorpsi (mg)	Persen Desorpsi (%)
0,01	0,00317	72,36
0,03	0,00375	84,97
0,05	0,00425	92,45
0,1	0,00353	78,32
0,15	0,00301	66,27



Gambar 2. Grafik variasi konsentrasi HCl

Berdasarkan grafik diatas, semakin meningkatnya konsentrasi HCl maka semakin meningkatnya anion nitrit yang terdesorpsi (Yuniarti, 2015). Namun, peningkatan persen desorpsi hanya terjadi pada konsentrasi HCl 0,01M sampai dengan konsentrasi HCl 0,05M. Persentase peningkatannya secara berturut-turut yaitu 72,36%, 84,97%, dan 92,45% dengan jumlah anion nitrit yang terdesorpsi secara berturut-turut yaitu sebanyak 0,00317 mg, 0,00375 mg, dan 0,00425 mg.

Sedangkan pada konsentrasi HCl 0,05M sampai dengan konsentrasi HCl 0,15M jumlah anion nitrit yang terdesorpsi mengalami penurunan. Persentase penurunannya secara berturut-turut yaitu 92,45%, 78,32%, dan 66,27% dengan jumlah anion nitrit yang terdesorpsi secara berturut-turut yaitu sebanyak 0,00425 mg, 0,00353 mg, dan 0,00301 mg. Konsentrasi optimum proses desorpsi anion nitrit terjadi pada konsentrasi HCl 0,05M dengan persentase desorpsi sebesar 92,23% dan jumlah anion nitrit yang terdesorpsi dari silika termodifikasi DMA sebanyak 0,00425 mg.

Konsentrasi optimum eluen tidak terlalu rendah dan tidak terlalu tinggi. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi yang lebih rendah, dapat memperlambat proses desorpsi (Patel, 2021). Pada konsentrasi eluen yang lebih rendah akan menyebabkan interaksi elektrostatis menjadi lebih lemah (Septiani et al., 2015). Selain itu, pada konsentrasi HCl yang rendah ion-ion yang tersedia pada eluen masih sedikit, sehingga anion yang terdapat pada adsorben belum sepenuhnya tergantikan (Yuniarti, 2015).

Sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi, dapat merusak struktur adsorben sehingga memperlambat proses desorpsi (Patel, 2021). Penurunan persentase desorpsi juga dikarenakan semakin berkurangnya ion-ion yang dapat menggantikan anion nitrit berinteraksi dengan adsorben (Faudah, 2019). Selain itu, penurunan persentase desorpsi dikarenakan sisi aktif adsorben telah jenuh karena terjadi kesetimbangan termodinamik antara adsorpsi dan desorpsi sehingga proses desorpsi mengalami penurunan (Yuniarti, 2015).

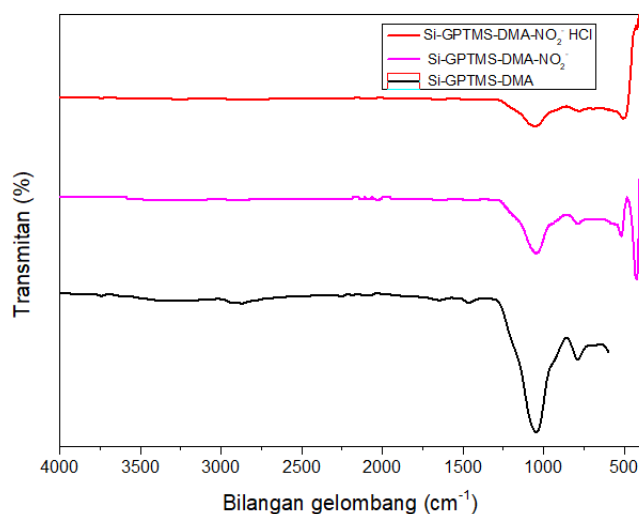
3.3 Karakterisasi FTIR

Spektrofotometri *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) adalah metode yang digunakan untuk menganalisa komposisi molekul dan gugus fungsi pada berbagai jenis sampel dari spektrumnya. Spektrum FTIR menunjukkan adanya beberapa gugus fungsi pada bilangan gelombang tertentu dengan terbentuknya puncak-puncak gelombang (Novais et al., 2019).

Analisa pada sampel silika gel termodifikasi DMA, untuk mengetahui adanya gugus fungsi silanol ($\equiv\text{Si-OH}$), siloksan ($\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$) dan amina (C-N). Analisa pada sampel setelah proses adsorpsi untuk mengetahui adanya anion nitrit (NO_2^-) yang terikat pada silika gel termodifikasi DMA. Sedangkan Analisa pada sampel setelah proses desorpsi untuk mengetahui adanya Cl^- yang menggantikan anion nitrit (NO_2^-) pada silika gel termodifikasi DMA. Hasil FTIR pada sampel tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Analisa gugus fungsi (FTIR)

Sampel	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹) / Peak	Gugus Fungsi
Silika-GPTMS-DMA	3261,19	O-H dari (≡Si-OH)
	788,48	C-H
	1045,18	≡Si-O dari (≡Si-OH)
	1039	C-N
Silika-GPTMS-DMA-NO ₂ ⁻	3280,75	O-H dari (≡Si-OH)
	517,06	(≡Si-O-Si≡)
	1044,73	≡Si-O dari (≡Si-OH)
	1038,55	C-N
Silika-GPTMS-DMA-NO ₂ ⁻ desorpsi (HCl)	1448,77	NO ₂ ⁻
	3286,01	O-H dari (≡Si-OH)
	508,33	(≡Si-O-Si≡)
	1054,54	≡Si-O
	1039,72	C-N
	619,15	Cl ⁻



Gambar 3. Spektrum FTIR silika

Berdasarkan gambar diatas, analisa silika menggunakan FTIR dilakukan pada bilangan gelombang 4000-400 cm⁻¹. Pada spektrum silika-GPTMS-DMA menunjukkan adanya gugus hidroksil (-OH) dari ≡Si-OH atau silanol yang muncul pada bilangan gelombang 3261,19 cm⁻¹. Pada bilangan gelombang 517,06 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya vibrasi tekuk gugus siloksan (≡Si-O-Si≡). Pada bilangan gelombang 788,48 cm⁻¹ terdapat kelompok C-H yang menunjukkan gugus propil dari GPTMS terikat pada permukaan silika. Puncak selanjutnya terdapat pada bilangan gelombang 1045,18 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetri (≡Si-O) dari ≡Si-OH atau silanol (Sulastri & Kristianingrum, 2010).

Pada bilangan gelombang 1039 cm⁻¹ terdapat vibrasi ulur C-N yang menandakan dimetilamina (DMA) berhasil terikat pada permukaan silika (Ramaswamy et al., 2005). Pada spektrum silika-GPTMS-DMA-anion nitrit, pada bilangan gelombang 1448,77 cm⁻¹ yang menandakan anion nitrit (NO₂⁻) berhasil terikat pada permukaan silika (Lietti et al., 2012). Pada spektrum silika-GPTMS-DMA-anion nitrit setelah proses desorpsi, terdapat pada bilangan gelombang 619,15 cm⁻¹ yang menandakan Cl⁻ berhasil menggantikan anion nitrit (NO₂⁻) pada permukaan silika (Nagabalasubramanian et al., 2009).

4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan, HCl lebih efektif untuk mendesorpsi anion nitrit dari silika gel termodifikasi DMA dibandingkan H₂SO₄. Persentase desorpsi anion nitrit menggunakan HCl sebesar 78,32% dengan melepaskan anion nitrit sebanyak 0,003528 mg. Sedangkan persentase desorpsi anion nitrit menggunakan H₂SO₄ sebesar 50,30% dengan melepaskan anion nitrit sebanyak 0,002274 mg. Konsentrasi optimum HCl yaitu 0,05M dan dapat melepaskan anion nitrit sebanyak 0,00425 mg dengan persentase desorpsi sebesar 92,45%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- 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>
- Dyana, R.G.L dan Triwikantoro. "Sintesis dan Karakterisasi Komposit PANi-SiO₂ dengan Pengisi Gel SiO₂ dari Pasir Bancar Tuban" *Sains dan Seni ITS* 6, no. 1 (2017): h. 14-19.
- Faudah, S. R. (2019). *ADSORPSI-DESORPSI ZAT WARNA NAFTOL BLUE BLACK MENGGUNAKAN ADSORBEN HUMIN HASIL ISOLASI*. 4(02), 59–67.
- Hardyanti, I. S., Nurani, I., Hardjono HP, D. S., Apriliani, E., & Wibowo, E. A. P. (2017). Pemanfaatan Silika (SiO₂) dan Bentonit sebagai Adsorben Logam Berat Fe pada Limbah Batik. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 3(2). <https://doi.org/10.32487/jst.v3i2.257>
- Kroupova, H., Machova, J., & Svobodova, Z. (2005). Nitrite influence on fish: A review. *Veterinarni Medicina*, 50(11), 461–471. <https://doi.org/10.17221/5650-VETMED>
- Lietti, L., Daturi, M., Blasin-aubø, V., Ghiotti, G., Prinetto, F., & Forzatti, P. (2012). *Relevance of the Nitrite Route in the NO_x Adsorption Mechanism over Pt – Ba / Al₂O₃ NO_x Storage Reduction Catalysts Investigated by using Operando FTIR Spectroscopy*. 2, 55–58. <https://doi.org/10.1002/cctc.201100304>
- Mallik, A. K., Moktadir, M. A., Rahman, M. A., Shahruzzaman, M., & Rahman, M. M. (2022). Progress in surface-modified silicas for Cr(VI) adsorption: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 423(PA), 127041. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127041>
- Muharrom, (2018). "Analisis Pengaruh Variasi Larutan Asam (HNO₃, H₂SO₄, HCL). Terhadap proses ekstraksi lithium pada lumpur sidoarjo menggunakan metode hidrometalurgi"
- Nagabalasubramanian, P. B., Periandy, S., Mohan, S., & Govindarajan, M. (2009). *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy FTIR and FT Raman spectra, vibrational assignments, ab initio, DFT and normal coordinate analysis of dichlorotoluene*. 73, 277–280. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2009.02.044>
- Ngulube, T., Gumbo, J. R., Masindi, V., & Maity, A. (2017). An update on synthetic dyes adsorption onto clay based minerals: A state-of-art review. *Journal of Environmental Management*, 191, 35–57. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.031>
- Novais, Â., Freitas, A. R., Rodrigues, C., & Peixe, L. (2019). Fourier transform infrared spectroscopy: unlocking fundamentals and prospects for bacterial strain typing. *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 38(3), 427–448. <https://doi.org/10.1007/s10096-018-3431-3>
- Patel, H. (2021). Review on Solvent Desorption Study from Exhausted Adsorbent 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>
- Pinchukova, N. A., Voloshko, A. Y., Merko, M. A., Bondarenko, Y. A., & Chebanov, V. A. (2018). Intensification of ion exchange desorption of thiamine diphosphate by low-powered ultrasound. In *Ultrasonics Sonochemistry* (Vol. 41). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.09.043>
- Pratiwi, N. I., Indah, S., & Helard, D. (2019). Agen Desorpsi Terbaik pada Regenerasi Batu Apung Sungai Pasak Untuk Penyisihan Amonium (NH₄⁺) dalam Air. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan*

- Saintek (SNPBS) Ke-IV*, 174–181.
- Ramaswamy, S., Rajaram, R. K., & Ramakrishnan, V. (2005). *Vibrational spectra of bis (L -ornithinium) chloride nitrate sulfate*. November 2004, 12–17. <https://doi.org/10.1002/jrs.1257>
- 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>
- Septiani, S., & Danar, P. (2015). *ADSORPSI SENG (II) OLEH BIOMASSA Azolla microphylla DIESTERIFIKASI DENGAN ASAM SITRAT : KAJIAN DESORPSI MENGGUNAKAN LARUTAN HCl*, 629–635.
- Setiowati, S., Roto, R., & Wahyuni, E. T. (2016). MONITORING KADAR NITRIT DAN NITRAT PADA AIR SUMUR DI DAERAH CATUR TUNGGAL YOGYAKARTA DENGAN METODE SPEKTROFOTOMETRI UV-VIS (Monitoring of Nitrite and Nitrate Content in Ground Water of Catur Tunggal Region of Yogyakarta by UV-VIS Spectrophotometry). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 23(2), 143. <https://doi.org/10.22146/jml.18784>
- Sulastri, S., & Kristianingrum, S. (2010). Berbagai Macam Senyawa Silika : Sintesis, Karakterisasi dan Pemanfaatan. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA*, 211–216.
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87(9–10), 1051–1069. <https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>
- Trivana, L., Sugiarti, S., & Rohaeti, E. (2015). Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na 2 SiO 3). *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, Vol 7(2), 66–75.
- 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). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1788/1/012014>
- Yuniarti, R. D. W. I. (2015). *Penentuan Kapasitas Adsorpsi Biomassa Azolla microphylla Diamobilisasi pada Ca-Alginat Terhadap Seng(II) dan Kajian Desorpsinya Menggunakan Larutan HCl. Ii*.
- Zhang, Y., Xia, K., Liu, X., Chen, Z., Du, H., & Zhang, X. (2019). Synthesis of cationic-modified silica gel and its adsorption properties for anionic dyes. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 102, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.05.005>