

Studi Perbandingan Adsorpsi-Desorpsi Anion Nitrat dan Sulfat pada Bentonit Termodifikasi

Syarifah Rabiatul Adawiah^{1}, Sutarno², Arfiani Nur¹, Rahmiani Gani¹, Titik Andriani¹*

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

²Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding Author: ivhe07@gmail.com

Received: 16 February 2021; Accepted: 8 June 2021; Published: 9 July 2021

Abstrak

Telah dilakukan studi perbandingan adsorpsi-desorpsi nitrat dan sulfat pada bentonit termodifikasi. Adsorpsi dilakukan dengan mengocok adsorben dalam larutan adsorbat pada kondisi pH, waktu kontak dan konsentrasi optimum. Selanjutnya dilakukan studi desorpsi pada air dan asam sitrat yang menggunakan adsorben yang telah mengadsorpsi nitrat dan sulfat. Studi menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh muatan dan ukuran anion. Semakin kecil muatan dan ukuran anion, semakin besar kapasitas adsorpsinya. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas adsorpsi: nitrat ($0,032 \text{ mmol g}^{-1}$) > sulfat ($0,020 \text{ mmol g}^{-1}$). Pada studi desorpsi menunjukkan bahwa persentase pelepasan juga dipengaruhi oleh muatan dan ukuran anion, semakin besar muatan dan ukuran anion maka semakin mudah proses desorpsi. Persentase desorpsi dalam air pada waktu kesetimbangan adalah: sulfat (71,33%) > nitrat (50,71%) dan dalam asam sitrat adalah: sulfat (95,76%) > nitrat (59,05%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelarutan anion dalam asam sitrat lebih besar dari pada air, hal ini merupakan persyaratan untuk aplikasi pupuk lepas lambat (SRF).

Kata Kunci: Adsorpsi; Desorpsi; Nitrat; Sulfat; SRF

Abstract

Adsorption-desorption comparison studies of nitrate and sulphate on modified bentonite have been investigated. Adsorption was conducted by shaking adsorbent in adsorbate solution at optimum condition of pH, contact time and concentration. Furthermore, desorption studies was conducted on water and citric acid that using adsorbent which has adsorbed nitrate and sulphate. Studies showed that the adsorption capacity was influenced by the charge and the size of anion. The smaller the charge and the size of anion, the larger the adsorption capacity. The adsorption capacity was in the order: nitrate ($0.032 \text{ mmol g}^{-1}$) > sulphate ($0.020 \text{ mmol g}^{-1}$). The desorption study showed that the percentage of release also influenced by the charge and the size of anion, the bigger the charge and the size of anion, the easier desorption process. Desorption percentage in water at equilibrium time are: sulphate (71,33%) > nitrate (50,71%) and in citric acid are: sulphate (95,76%) > nitrate (59,05%). The result showed that the

solubility of the anion in citric acid is greater than in water, this is a requirement for slow-release fertilizer (SRF) application.

Keywords: Adsorption; Desorption; Nitrate; Sulphate; SRF

Pendahuluan

Nitrat dan sulfat adalah makronutrien yang dibutuhkan tumbuhan, namun juga merupakan pencemar dalam air. Sulfat salah satu anion paling melimpah yang ditemukan di lingkungan. Meskipun sejumlah besar sulfat dilepaskan ke lingkungan begitu saja, namun sedikit perhatian yang diberikan pada mitigasi sulfat karena risiko langsung terhadap lingkungan yang relatif rendah dibandingkan dengan polutan lainnya. Namun, pencemaran sulfat tetap harus menjadi perhatian karena dapat menyebabkan beberapa efek lingkungan secara tidak langsung. Padahal, sejumlah sulfat yang dilepaskan secara berlebihan dapat mempengaruhi pasokan air publik dan menimbulkan ancaman kesehatan bagi makhluk hidup (Liamleam dan Annachhatre, 2007).

Air limbah yang mengandung sulfat biasanya diolah dengan metode fisikokimia dan biologi (Coma dkk., 2013). Metode yang mutakhir untuk menghilangkan sulfat dari limbah industri diantaranya adalah pengendapan kimiawi, pengolahan biologis, dan teknik adsorpsi. Beberapa dari metode ini, masing-masing memiliki kekurangan dan keterbatasan. Pengendapan kimiawi, misalnya, menghasilkan sejumlah besar lumpur dalam larutan sedangkan secara biologis dan pertukaran ion, biaya pengelolannya mahal. Suatu metode alternatif yaitu metode adsorpsi lebih disukai karena selektivitasnya yang cepat dan tinggi untuk menghilangkan ion sulfat, serta sulfat dapat diperoleh kembali (Palygorskite dkk., 2011) (Cao dkk., 2011).

Adsorben yang umum digunakan untuk menghilangkan sulfat diantaranya BaCl_2 , CaCl_2 , dan $\text{ZrO}(\text{OH})_2$, namun BaCl_2 dan $\text{ZrO}(\text{OH})_2$ termasuk bahan kimia yang mahal, serta BaCl_2 berpotensi mencemari

lingkungan. Selain itu, efisiensi penghilangan sulfat dengan CaCl_2 tidak tinggi. Oleh karena itu, perlu dikembangkan adsorben untuk anion yang biayanya rendah dan lebih efektif untuk menghilangkan ion sulfat (Palygorskite dkk., 2011).

Konsentrasi nitrat yang tinggi dalam air minum, dapat menyebabkan kanker lambung pada orang dewasa dan methemoglobinemia atau sindrom bayi biru yang merupakan risiko kesehatan yang serius (Almasri, 2007) (Seliem dkk., 2013). Nitrat adalah ion yang sangat larut dan stabil dalam air. Sehingga, metode pengolahan air secara tradisional seperti pelunakan dengan kapur dan penyaringan sulit digunakan untuk menghilangkan nitrat dari air (Kalaruban dkk., 2016). Beberapa proses fisika-kimiawi dan biologi telah diteliti untuk menghilangkan nutrisi terlarut dalam air dan air limbah. Diantaranya, teknik adsorpsi yang merupakan metode menjanjikan dan disukai karena efisiensinya yang tinggi, biaya rendah, proses pengolahan yang sederhana dan ekonomis sehingga menghasilkan produksi lumpur yang lebih sedikit (Hamoudi dan Belkacemi, 2013); (Qiao dkk., 2019). Oleh karena itu, mengembangkan adsorben yang ekonomis dan efektif untuk menghilangkan nitrat dari air merupakan faktor kunci pengaplikasian metode adsorpsi dalam skala besar (Yin dkk., 2018).

Tanah liat adalah salah satu alternatif adsorben yang murah karena kelimpahannya. Bentonit adalah mineral tanah liat yang merupakan salah satu adsorben yang paling banyak digunakan (Ma dkk., 2012). Bentonit juga disebut montmorilonit, berupa mineral lempung smektit yang terutama terdiri dari alumina, silika, kalsium, dan magnesium oksida, yang mirip dengan komposisi zeolite (Cao dkk., 2019). Bentonit secara alami terbentuk sebagai partikel halus dengan luas

permukaan spesifik yang besar, yang dimanfaatkan sebagai adsorben air limbah karena kemampuan dan efisiensi adsorpsinya. terbentuk dari perubahan abu vulkanik dan tuf (batu putih) (Mo dkk., 2018).

Aplikasi tanah liat dikembangkan untuk menyerap kontaminan anionik terutama oxianions anorganik seperti nitrat, kromat dan arsenat yang berbahaya bagi makhluk hidup bahkan dalam konsentrasi rendah. Namun, lempung alami yang tidak dimodifikasi tidak cocok untuk menyerap anion karena akan terjadi tolakan dari muatan negatif pada interlayer. Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi misalnya dengan interkalasi senyawa organik seperti surfaktan (Xi, Mallavarapu dan Naidu, 2010). Interkalasi surfaktan pada lapisan bentonit akan meningkatkan jarak antar layer sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsinya. (Park, Ayoko dan Frost, 2011). Salah satu surfaktan kationik yang paling umum digunakan dalam memodifikasi bentonit untuk meningkatkan hidrofobitas dan muatannya adalah cetil trimetil ammonium bromide atau CTAB ($C_{16}H_{33}(CH_3)_3N^+ Br^-$) (Chen dkk., 2013). Modifikasi bentonit dengan surfaktan kationik menyebabkan permukaan bentonit bermuatan positif sehingga dapat menyerap anion.

Desorpsi adalah proses kebalikan dari adsorpsi, dimana laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi pada kesetimbangan. Partikel yang terserap secara fisik akan bergetar dan dapat mengguncangkan dirinya sendiri sehingga akan terlepas dari permukaan adsorben.

Penggunaan pupuk yang tidak efektif menyebabkan dua masalah utama, pertama kurangnya asupan hara yang diserap oleh akar tanaman karena pelepasan unsur tersebut sangat cepat. Kedua, penggunaan pupuk yang berlebihan untuk mencukupi hara tanaman yang menyebabkan pencemaran baik pada tanah maupun air. Banyak nutrisi tanaman dalam bentuk oksianion seperti sulfat dan nitrat, namun

sifatnya sangat *mobile*, sehingga sangat menarik untuk menemukan alternatif bahan yang murah untuk digunakan sebagai material pembawa untuk mengontrol pelepasan anion tersebut dan perlahan terlepas sampai bertemu dengan kebutuhan nutrisi untuk pertumbuhan tanaman (Li dan Zhang, 2010).

Bentonit memiliki kemampuan pertukaran ion sehingga mampu menyerap anion seperti nitrat dan sulfat melalui pertukaran kation. Pada waktu dan kondisi tertentu bentonit mampu melepaskan senyawa yang telah terserap, sehingga menjadi dasar untuk melakukan studi desorpsi pada bentonit.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah gelas kimia 25 mL dan 150 mL, *ball pipette*, *shaker* (OSK), pH meter (Horiba F-52), neraca analitik (Mettler Toledo), *hot plate*, UV-Vis spectrometer (Optima SP-300). Bahan yang digunakan adalah bentonit termodifikasi CTAB yang merupakan hasil dari penelitian sebelumnya, timbal (II) nitrat ($Pb(NO_3)_2$), brusin ($C_{23}H_{26}N_2O_4$), asam sulfanilat ($C_6H_7NO_3S$), Natrium klorida (NaCl), tembaga sulfat penta hidrat ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), gliserol ($C_3H_8O_3$), etanol 96% (C_2H_5OH), kalium hidro fosfat (KH_2PO_4), ammonium vanadate (NH_4VO_3), ammoniumheptamolibat tetrahidrat ($H_{24}Mo_7N_6O_{24}$), asam nitrat 68% (HNO_3), asam sulfat 96% (H_2SO_4), asam klorida 37% (HCl), barium klorida ($BaCl_2 \cdot 2H_2O$), asam sitrat ($C_6H_8O_7$), dan akuades. Semua bahan diperoleh dari Merck kecuali akuades produksi CV. Progo Mulyo, kertas timbang dan kertas saring Whatmann 42.

Prosedur Kerja

Adsorpsi sulfat dilakukan pada kondisi optimum merujuk pada penelitian Utami (Utami, 2014), menggunakan adsorben 200 mg dicampur dengan 100 mL adsorbat 10 ppm dengan pH optimum 2. Kemudian

dikocok selama 120 menit dan disaring, filtrat ditambahkan 1 mL reagen kondisi sulfat dan BaCl₂ (metode Turbidimetri) selanjutnya dianalisis dengan UV-Vis pada panjang gelombang 420 nm.

Adsorpsi nitrat dilakukan pada kondisi optimum merujuk pada penelitian Suraiyya (Suraiya dan Sutarno, 2020) menggunakan 200 mg adsorben yang dicampur dengan 100 mL adsorbat 10 ppm dengan pH optimum 6. Kemudian dikocok selama 60 menit dan disaring, filtrat ditambahkan 2 mL larutan NaCl, 10 mL asam sulfat pekat dan brusin (metode Brusin) kemudian dianalisis dengan UV-Vis pada panjang gelombang 410 nm.

Studi desorpsi dibatasi hanya pada variasi waktu kontak untuk melihat waktu kesetimbangan anion yang terdesorpsi dalam air dan asam sitrat 0,33 M dengan mengacu pada proses desorpsi yang telah dilakukan oleh Khan dkk. (2008). Proses desorpsi menggunakan adsorben dari proses adsorpsi masing-masing anion sebanyak 5 mg ditambahkan ke masing-masing 5 mL air dan asam sitrat 0,33 M dalam botol terpisah kemudian dikocok pada variasi waktu; 30; 60; 120; 180; 240; 300; 360; 420 menit, kemudian disaring dan filtrat dianalisa dengan UV-Vis pada panjang gelombang 420 nm untuk ion sulfat dengan metode turbidimetri dan 410 nm untuk ion nitrat dengan metode brucin untuk mengetahui konsentrasi setiap ion yang dilepaskan oleh adsorben.

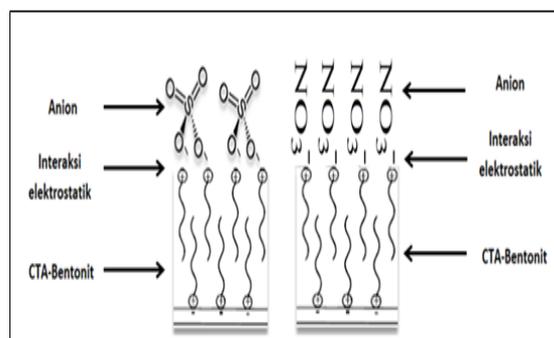
Hasil dan Pembahasan

Studi Adsorpsi

Studi adsorpsi dapat dilihat dari perbandingan kapasitas adsorpsi anion nitrat dan sulfat yang diadsorpsi secara terpisah oleh CTA-bentonit. Terlihat bahwa kapasitas adsorpsi anion nitrat sebesar 0,032 mmol g⁻¹ lebih besar dari pada sulfat yaitu sebesar 0,020 mmol g⁻¹. Perbedaan kapasitas adsorpsi dapat dipengaruhi oleh perbedaan muatan dan ukuran anion, dimana anion divalen memiliki koefisien selektivitas yang tinggi dibandingkan dengan

ion monovalen, sehingga kapasitas adsorpsi nitrat dan sulfat yang merupakan anion dengan muatan berbeda dapat dikaitkan dengan pengaruh muatan.

Anion sulfat dengan muatan negatif yang lebih besar yaitu -2, memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih rendah dibandingkan dengan nitrat dengan muatan negatif yang lebih kecil yaitu -1. Hal ini dikarenakan setiap molekul surfaktan CTA⁺ menyumbangkan satu muatan positif sehingga hanya membutuhkan satu muatan negatif untuk menyetarakannya dan pada kenyataannya sulfat merupakan anion divalen, sehingga membutuhkan dua molekul CTA⁺ untuk menetralkan muatannya seperti terlihat pada Gambar 1. Sedangkan, pembentukan permukaan CTA⁺ tidak kaku karena interaksi ekor-ekor surfaktan, jadi menjembatani dua molekul CTA⁺ dengan satu sulfat mungkin kurang disukai daripada menjembatani satu nitrat saja (Li dan Zhang, 2010). Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa bentonit termodifikasi CTAB mampu menyerap limbah anionik seperti nitrat dan sulfat melalui interaksi elektrostatis.



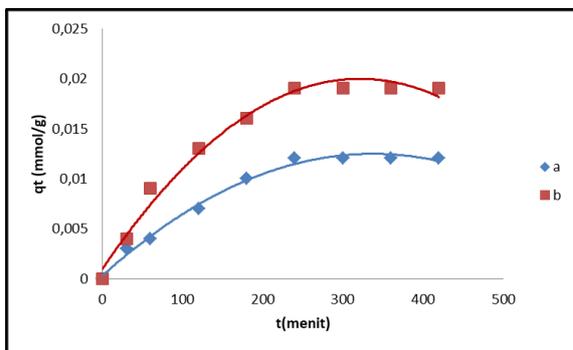
Gambar 1 Interaksi anion nitrat dan sulfat dengan CTA-bentonit

Kapasitas adsorpsi selain dipengaruhi oleh muatan juga dapat dipengaruhi oleh ukuran ion, misalnya jika kita membandingkan ion nitrat yang univalen dengan fosfat yang juga univalen tetapi memiliki ukuran ion yang berbeda. Ukuran anion nitrat yang lebih kecil yaitu 177 pikometer dibandingkan dengan fosfat yaitu

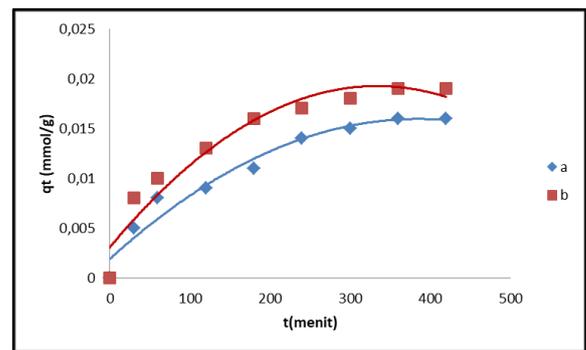
277,8 pikometer, sehingga nitrat yang lebih kecil lebih mudah diserap pada permukaan bentonit dibandingkan dengan fosfat yang ukurannya lebih besar. Hal ini terlihat dari hasil penelitian oleh Adawiah, dkk (2020), yaitu kapasitas adsorpsi ion fosfat menggunakan adsorben bentonit termodifikasi CTAB adalah $0,028 \text{ mmol g}^{-1}$, lebih kecil dari kapasitas adsorpsi anion nitrat yaitu $0,032 \text{ mmol g}^{-1}$.

Studi Desorpsi

Studi desorpsi dilakukan pada medium asam sitrat dan air. Pada umumnya tumbuhan mengeluarkan mikronutrisi seperti asam organik lemah salah satunya asam sitrat, sehingga asam sitrat digunakan sebagai media simulasi. Perbandingan kemampuan desorpsi anion nitrat dan sulfat dalam air dengan asam sitrat 0,33 M dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3 yang dilakukan dengan membuat kurva logaritma antara t melawan q_e .

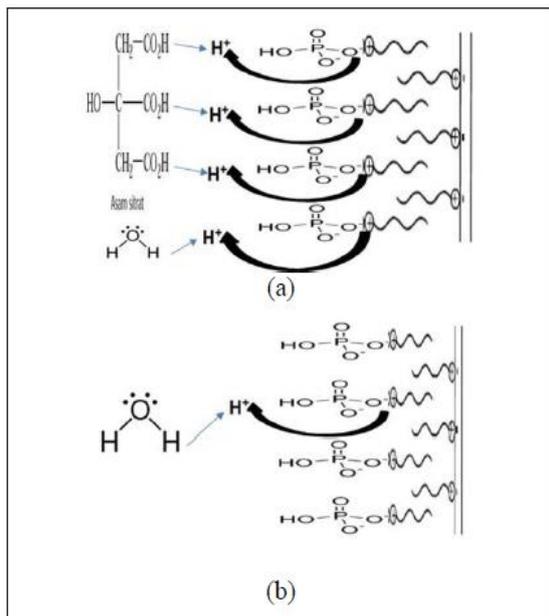


Gambar 2 Efek waktu kontak anion sulfat pada medium: (a) air dan (b) asam sitrat 0,33 M



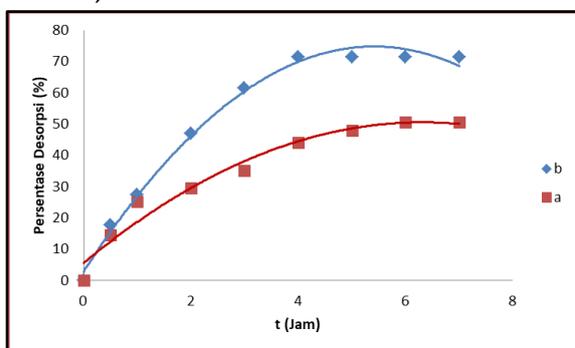
Gambar 3 Efek waktu kontak anion nitrat pada medium: (a) air dan (b) asam sitrat 0,33 M

Dari kedua grafik terlihat bahwa kapasitas desorpsi anion baik nitrat maupun sulfat yang terkandung dalam CTA-bentonit lebih besar pada asam sitrat dibandingkan dengan air hingga mencapai waktu kesetimbangan. Perbedaan kapasitas desorpsi ini disebabkan adanya lebih banyak ion H_3O^+ dalam larutan asam sitrat, baik dari pelarut air maupun dari asam sitrat itu sendiri, sehingga proses protonasi anion yang terserap ke permukaan bentonit lebih cepat pada medium asam sitrat dibandingkan di dalam air seperti yang terlihat pada gambar 4. Hasil yang diperoleh sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Bhattacharya, dkk (2007), bahwa kelarutan komponen atau anion yang ada pada pupuk lepas lambat lebih besar pada asam sitrat 0,33 M dibandingkan pada air. Hal tersebut merupakan salah satu syarat untuk pupuk lepas lambat, yaitu ion hara yang terkandung dalam pupuk harus memiliki kelarutan yang rendah di dalam air tetapi harus memiliki kelarutan yang tinggi pada asam organik, seperti asam sitrat yang disekresikan oleh tanaman, sehingga pelepasan ion hara tersebut dikendalikan oleh sekresi aktif akar tanaman bukan dari proses hidrolisis (Bhattacharya dkk, 2007).

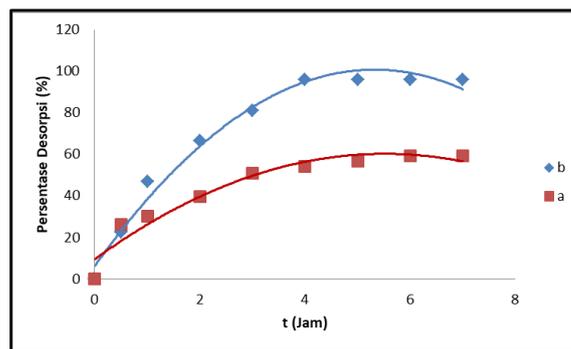


Gambar 4 Protonasi anion yang teradsorpsi pada permukaan adsorben pada medium: (a) asam sitrat dan (b) air (Adawiah dkk, 2020)

Hasil perbandingan persentase desorpsi anion nitrat dan sulfat dalam air dan asam sitrat disajikan pada Gambar 5 dan 6. Terlihat bahwa anion sulfat lebih mudah terdesorpsi dibandingkan nitrat baik pada air maupun asam sitrat 0,33 M dengan waktu kesetimbangan yang juga lebih awal. Dari Gambar 5 dan 6, anion sulfat pada menit 240 (4 jam) maksimum 71,33% dalam air dan 95,76% dalam asam sitrat 0,33 M, sedangkan anion nitrat pada menit 360 (6 jam) adalah 50,71% dalam air dan 59,05% dalam asam sitrat 0,33 M.



Gambar 5 Persentase desorpsi dalam air: (a) nitrat (b) sulfat



Gambar 6 Persentase desorpsi dalam asam sitrat 0,33 M: (a) nitrat (b) sulfat

Perbedaan persentase desorpsi anion nitrat dan sulfat dimana sulfat lebih besar dari nitrat baik dalam air maupun asam sitrat 0,33 M karena perbedaan muatan dan ukuran ion yang mempengaruhi proses pelarutan anion pada permukaan bentonit saat proses desorpsi terjadi. Proses desorpsi dapat dijelaskan melalui fenomena hidrasi.

Dikatakan terjadi hidrasi di dalam pelarut air jika ion-ion dikelilingi oleh molekul air yang tersusun dalam keadaan tertentu akibat antaraksi dipol antara ion-ion tersebut dengan molekul air. Hidrasi membantu menstabilkan ion-ion dalam larutan dalam hal ini anion nitrat dan sulfat dan mencegah kation yakni situs aktif adsorben untuk bergabung kembali dengan anion.

Terjadinya hidrasi juga disebabkan H^+ dari air lebih disukai oleh anion dibanding muatan positif yang ada di permukaan bentonit. Kekuatan hidrasi anion cenderung lebih besar dengan dua alasan yakni pertama hasil perhitungan secara mekanika kuantum menunjukkan bahwa anion yang berinteraksi dengan atom hidrogen dari air yang memungkinkan terjadinya ikatan hidrogen pada air yang terionisasi sedangkan pada kation tidak terjadi (Combariza, dkk, 1994). Kedua, kemungkinan terjadinya transfer muatan yang mencirikan besarnya kekuatan hidrasi karena oksigen yang berasal dari molekul air sangat elektronegatif sehingga lebih mudah menerima muatan ion dari anion dibanding

muatan positif dari kation (Washabaugh dan Collins, 1986). Anion yang dihidrasi adalah anion-anion yang berasal dari asam kuat atau anion yang bersifat basa konjugat yang sangat lemah seperti ion nitrat dan sulfat. Dengan demikian, perbedaan persentase antara nitrat dan sulfat dapat dijelaskan melalui fenomena hidrasi.

Semakin besar muatan ion maka semakin kuat interaksi ion-dipolnya sehingga semakin besar energi hidrasinya dan kelarutannya semakin besar, dimana muatan negatif sulfat (-2) lebih besar dari nitrat (-1), sehingga sulfat lebih terhidrasi.

Perbedaan persentase antara sulfat dengan nitrat juga dapat terjadi karena ion dengan muatan besar dan ukuran besar akan lebih mudah terpolarisasi, ukuran ion yang besar akan meningkatkan polarisasi ion lawannya dalam hal ini air dan semakin besar ukuran anion maka semakin mudah awan elektronnya terpolarisasi oleh kation sehingga lebih mudah larut.

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan, dapat disimpulkan bahwa bentonit termodifikasi mampu menyerap polutan anionik dengan baik dan kapasitas adsorpsinya meningkat seiring dengan penurunan muatan anion. Namun di sisi lain, proses desorpsi meningkat dengan meningkatnya muatan ionik. Kemampuan bentonit dalam menghilangkan anion yang telah terserap dalam kerangkanya dalam kurun waktu tertentu dapat menjadi dasar bahwa bentonit termodifikasi berpotensi menjadi bahan pembawa atau bahan pengontrol pada aplikasi pupuk lepas lambat.

Simpulan

Kapasitas adsorpsi nitrat ($0,032 \text{ mmol g}^{-1}$) lebih besar dari sulfat ($0,020 \text{ mmol g}^{-1}$). Kelarutan anion dalam asam sitrat $0,33 \text{ M}$ lebih besar dari pada air dengan persentase desorpsi: (a) anion sulfat pada menit 240 (4 jam) maksimum $71,33\%$ dalam air dan $95,76\%$ pada asam sitrat $0,33 \text{ M}$, sedangkan

anion nitrat pada menit 360 (6 jam) sebesar $50,71\%$ dalam air dan $59,05\%$ dalam asam sitrat $0,33 \text{ M}$.

Daftar Pustaka

- Adawiah, S. R., Sutarno, S. dan Suyanta, S. 2020. Studi Adsorpsi-Desorpsi Anion Fosfat pada Bentonit Termodifikasi CTAB. *Indo. J. Chem. Res.*, 8(2), pp. 125–136. doi: 10.30598//ijcr.2020.8-sra.
- Almasri, M. N. 2007. Nitrate contamination of Groundwater: A Conceptual Management Framework. *Environmental Impact Assessment Review*, 27(3), pp. 220–242. doi: 10.1016/j.eiar.2006.11.002.
- Bhattacharya, I. dkk. 2007. Development of A Novel Slow-Releasing Iron-Manganese Fertilizer Compound. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46(9), pp. 2870–2876. doi: 10.1021/ie060787n.
- Cao, L. dkk. 2019. Preparation and Characteristics of Bentonite-Zeolite Adsorbent and Its Application in Swine Wastewater. *Bioresour. Technology*. Elsevier, 284(2), pp. 448–455. doi: 10.1016/j.biortech.2019.03.043.
- Cao, W. dkk. 2011. Removal of Sulphate From Aqueous Solution Using Modified Rice Straw: Preparation, Characterization and Adsorption Performance., *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 85(3), pp. 571–577. doi: 10.1016/j.carbpol.2011.03.016.
- Chen, L. dkk. 2013. Enhanced Oil-Mineral Aggregation with Modified Bentonite. *Water Science and Technology*, 67(7), pp. 1581–1589. doi: 10.2166/wst.2013.013.

- Coma, M. dkk. 2013. Biocatalysed Sulphate Removal in A Bes Cathode. *Bioresource Technology*, 130, pp. 218–223. doi: 10.1016/j.biortech.2012.12.050.
- Combariza, J. E., Kestner, N. R. dan Jortner, J. 1994. Energy-Structure Relationships for Microscopic Solvation of Anions in Water Clusters. *The Journal of Chemical Physics*, 100(4), pp. 2851–2864. doi: 10.1063/1.467231.
- Hamoudi, S. dan Belkacemi, K. 2013. Adsorption of Nitrate and Phosphate Ions from Aqueous Solutions Using Organically-Functionalized Silica Materials: Kinetic Modeling. *Fuel*. Elsevier Ltd, 110, pp. 107–113. doi: 10.1016/j.fuel.2012.09.066.
- Kalaruban, M. dkk. 2016. Enhanced Removal of Nitrate From Water Using Amine-Grafted Agricultural Wastes. *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 565, pp. 503–510. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.194.
- Khan, M. A. dkk. 2008. Nutrient-Impregnated Charcoal: An Environmentally Friendly Slow-Release Fertilizer. *Environmentalist*, 28(3), pp. 231–235. doi: 10.1007/s10669-007-9133-5.
- Li, Z. dan Zhang, Y. 2010. Use of Surfactant-Modified Zeolite to Carry and Slowly Release Sulfate. *Desalination and Water Treatment*, 21(1–3), pp. 73–78. doi: 10.5004/dwt.2010.1226.
- Liamleam, W. dan Annachhatre, A. P. 2007. Electron Donors for Biological Sulfate Reduction. *Biotechnology Advances*, 25(5), pp. 452–463. doi: 10.1016/j.biotechadv.2007.05.002.
- Ma, J. dkk. 2012. A Novel Bentonite-Based Adsorbent for Anionic Pollutant Removal from Water. *Chemical Engineering Journal*. Elsevier B.V., 200–202, pp. 97–103. doi: 10.1016/j.cej.2012.06.014.
- Mo, W. dkk. 2018. Preparation and Characterization of A Granular Bentonite Composite Adsorbent and Its Application for Pb²⁺ Adsorption. *Applied Clay Science*. Elsevier, 159(July), pp. 68–73. doi: 10.1016/j.clay.2017.12.001.
- Palygorskite, S. dkk. 2011. Adsorption of Sulfate Ions from Aqueous Solution by', pp. 3890–3896.
- Park, Y., Ayoko, G. A. dan Frost, R. L. 2011. Application of Organoclays for The Adsorption of Recalcitrant Organic Molecules from Aqueous Media. *Journal of Colloid and Interface Science*. Elsevier Inc., 354(1), pp. 292–305. doi: 10.1016/j.jcis.2010.09.068.
- Qiao, H. dkk. 2019. Adsorption of Nitrate and Phosphate from Aqueous Solution Using Amine Cross-Linked Tea Wastes. *Applied Surface Science*. Elsevier B.V, 483, pp. 114–122. doi: 10.1016/j.apsusc.2019.03.147.
- Seliem, M. K. dkk. 2013. Removal of Nitrate by Synthetic Organosilicas and Organoclay: Kinetic and Isotherm Studies. *Separation and Purification Technology*. Elsevier B.V., 110, pp. 181–187. doi: 10.1016/j.seppur.2013.03.023.
- Suraiya, F. N. dan Sutarno. 2020. Bentonit Termodifikasi Cetiltrimetilammonium sebagai Adsorben Ion Mn²⁺. (3), pp. 10–13
- Utami, M. 2014. Adsorpsi Ion Pb²⁺ dan SO₄²⁻ pada Bentonit Termodifikasi Cetiltrimetilammonium. pp. 1–2.

- Washabaugh, M. W. dan Collins, K. D. 1986. The systematic characterization by aqueous column chromatography of solutes which affect protein stability. *Journal of Biological Chemistry*, 261(27), pp. 12477-12485. doi: 10.1016/s0021-9258(18)67112-1.
- Xi, Y., Mallavarapu, M. dan Naidu, R. 2010. Preparation, characterization of surfactants modified clay minerals and nitrate adsorption. *Applied Clay Science*, 48(1-2), pp. 92-96. doi: 10.1016/j.clay.2009.11.047.
- Yin, Q. dkk. 2018. Evaluation of nitrate and phosphate adsorption on Al-modified biochar: Influence of Al content. *Science of the Total Environment*, 631-632, pp. 895-903. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.091.