

Pengaruh Ukuran Partikel Zeolit Alam yang Diaktivasi dan Diimpregnasi HCl dan Mg^{2+} pada Penjerapan Ion Fosfat

The Effect of Natural Zeolite Particle Size in Activation and in Impregnation of HCl and Mg^{2+} in the Implementation of Adsorption Phosphate Ions

Fatimah, Sri Rahmadaniati Effendi*, Charissa Dini Sofith
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jalan Almamater Kampus USU, Medan, 20155, Indonesia
*Email : sriahmadaniati13@gmail.com

Abstrak

Penelitian tentang penyerapan fosfat menggunakan zeolit alam yang diaktivasi dan diimpregnasi HCl dan Mg^{2+} telah dilakukan. Penelitian ini mengkaji pengaruh ukuran partikel zeolit alam pada penjerapan ion fosfat. Tahapan penelitian dimulai dari pengayakan zeolit sesuai dengan ukuran yang ditentukan (50/70 mesh, 70/110 mesh dan 110/120 mesh), pencucian, aktivasi dan impregnasi. Zeolit alam dengan ukuran partikel 110/120 mesh digunakan untuk menetapkan waktu kontak dalam menyerap ion fosfat. Zeolit alam dapat menyerap fosfat sebanyak 8,53 mg/L atau 85,3% dengan waktu kontak selama 35 menit. Zeolit alam dilakukan variasi penjerapan terhadap ukuran partikel untuk mendapatkan pengaruh ukuran partikel zeolit alam terhadap daya jerap ion fosfat. Ion fosfat yang dijerap oleh zeolit dianalisa menggunakan spektrofotometer UV-VIS. Efisiensi penjerapan tertinggi (99,26%) diperoleh pada ukuran partikel zeolit alam 110/120 mesh. Model isotherm adsorpsi zeolit alam terhadap ion fosfat diuji dengan persamaan Freundlich dan Langmuir. Berdasarkan data yang telah didapat, model isotherm yang sesuai untuk penelitian ini adalah Freundlich dengan nilai $R^2 = 0,985$.

Kata kunci: adsorpsi, impregnasi, zeolit, efisiensi penjerapan, Model Isotherm Freundlich,

Abstract

Research on phosphate adsorption using natural zeolites which were activated and impregnated with HCl and Mg^{2+} had been carried out. This study examined the effect of natural zeolite particle size on phosphate ion adsorption. Stages of the study began from sifting zeolites in accordance with the specified size (50/70 mesh, 70/110 mesh and 110/120 mesh), washing, activation and impregnation. Natural zeolite with 110/120 mesh particle size is used to determine the contact time in absorbing phosphate ions. Natural zeolite can absorb phosphate as much as 8.53 mg / l or 85.3% with a contact time of 35 minutes. The variation of the adsorption on the natural zeolite particle size is carried out to get the effect of the natural zeolite particle size on the adsorption of phosphate ions. Phosphate ions which are absorbed by zeolites are analyzed using a UV-Vis spectrophotometer. The highest absorption efficiency (99.26%) was obtained for natural zeolite particle size 110/120 mesh. The natural zeolite adsorption isotherm model of the phosphate ion is tested with the Freundlich and Langmuir equations. Based on the data obtained, the isotherm model suitable for this study is Freundlich with a value of $R^2 = 0.985$.

Keywords: adsorption, impregnation, zeolites, absorption efficiency, Freundlich Isotherm Model

Pendahuluan

Keberadaan senyawa fosfat dalam air sangat berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem perairan. Pembuangan limbah fosfat yang berlebih ke dalam badan air dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi [1]. Eutrofikasi adalah pertumbuhan biomassa yang

pesat karena kelebihan nutrient di dalam air, seperti fosfat.

Penyisihan fosfat dari badan air dapat dilakukan dengan berbagai metode yaitu *biological treatment*, *chemical presipitation*, *struvite formation*, *membrane processing*, dan adsorpsi. Metode adsorpsi mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode yang lain

yaitu pengerjaannya yang simpel, murah, dan efisiensinya tinggi [2]. Zeolit dapat digunakan sebagai adsorben karena memiliki pori-pori atau ruang-ruang yang dapat diisi oleh kation dan mempunyai struktur tiga dimensi bentuk kristal yang sangat teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah yang menyebabkan luas permukaan zeolit sangat besar sehingga sangat baik digunakan sebagai adsorben [3].

Banyak penelitian-penelitian terdahulu yang telah mengkaji penyerap fosfat dari limbah cair menggunakan zeolit yang telah diimpregnasi. Yang, *et.al* (2014) zeolit dimodifikasi Zirkonium (ZrMZ) dapat menyerap ion fosfat sebesar 8,3 mgP/g [4]. Pham, *et.al* (2019) melakukan penyerapan fosfat menggunakan zeolit dimodifikasi Lanthanum, ion fosfat yang terjerap sebesar 106,2 mgP/g [5]. Faisal, *et.al* (2015) Zeolit dimodifikasi Fe dapat menyerap ion fosfat sebesar 30,54% [6]. Aktivasi bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor anorganik, pertukaran kation dengan H^+ , serta meningkatkan luas permukaan zeolite [7]. Tujuan impregnasi adalah untuk peningkatan rasio Si/Al pada zeolit alam, peningkatan rasio Si/Al diikuti dengan peningkatan kemampuan adsorpsi karena penurunan Al pada situs aktif Si-O-Al menyebabkan transformasi situs aktif menjadi Si-O-Si sehingga zeolit cenderung bersifat hidrofobik [8]. Metode ini merupakan teknik preparasi yang sering digunakan karena mudah dalam pengerjaannya.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh ukuran partikel adsorben dan dosis adsorben pada zeolit alam diaktivasi HCl dan diimpregnasi Mg^{2+} sebagai penyerap ion fosfat. Zeolit alam yang digunakan pada penelitian ini yaitu berasal dari Kabupaten Sukabumi. Zeolit mempunyai struktur tiga dimensi bentuk kristal yang sangat teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah yang menyebabkan luas permukaan zeolit sangat besar sehingga sangat baik digunakan sebagai adsorben [3]. Kemampuan adsorpsi zeolit alam dapat ditingkatkan secara intensif dengan cara impregnasi menggunakan substansi yang cocok [9]. Permukaan zeolit dapat ditingkatkan dengan cara impregnasi menggunakan logam.

Pada penelitian ini dilakukan aktivasi zeolit alam menggunakan HCl dan impregnasi menggunakan Mg^{2+} untuk penyerapan ion fosfat.

Teori

Zeolit tersusun dari unit berulang terkecil berupa tetrahedra SiO_4 dan AlO_4 . Ikatan antar tetrahedra terbentuk dengan pemakaian bersama satu atom oksigen oleh dua tetrahedra sehingga setiap tetrahedra akan berikatan dengan 4

tetrahedra lainnya. Polimer yang terbentuk adalah jaringan tetrahedra tiga dimensi berupa kristal-kristal yang didalamnya terdapat saluran-saluran pori dan rongga-rongga yang tersusun secara beraturan [6].

Proses aktivasi adsorben dapat dilakukan dengan 2 cara. Cara yang pertama yaitu secara fisika melalui proses pemanasan yang bertujuan agar kandungan air yang terdapat didalam pori-pori adsorben dapat teruapkan, sehingga meningkatkan luas permukaan. Cara yang kedua yaitu secara kimia melalui proses penambahan suatu asam (seperti H_2SO_4 , HF, dan HCl) dan penambahan basa (NaOH atau KOH) yang bertujuan untuk membersihkan permukaan pori-pori adsorben, menghilangkan logam pengotor serta memperbanyak pori-pori adsorben [2].

Adsorpsi terjadi karena adanya energi permukaan dan gaya tarik permukaan. Kinetika proses adsorpsi dijelaskan sebagai tingkat perpindahan molekul dari larutan kedalam pori – pori adsorben [2].

Terdapat dua model yang umum digunakan untuk menentukan isotherm adsorpsi, yaitu:

a) Isotherm adsorpsi Langmuir

Isotherm Langmuir dapat diturunkan secara teoritis dengan menganggap bahwa hanya sebuah adsorpsi tunggal yang terjadi. Adsorpsi tersebut disebut adsorpsi terlokalisasi, artinya molekul-molekul zat hanya dapat diserap pada tempat-tempat tertentu dan panas adsorpsi tidak tergantung pada permukaan yang tertutup oleh adsorben. Isotherm adsorpsi Langmuir digunakan untuk menggambarkan adsorpsi kimia.

b) Isotherm adsorpsi Freundlich

Persamaan adsorpsi Freundlich diturunkan secara empirik dan berlaku untuk gas yang bertekanan rendah. Isotherm adsorpsi terjadi pada beberapa lapis dan ikatannya tidak kuat [2].

Metodologi Penelitian

Pengumpulan Bahan Baku

Bahan baku utama yang digunakan pada penelitian ini adalah zeolit alam yang diperoleh dari Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat, yaitu zeolit *clinoptilolite*.

Proses Preparasi Bahan Baku

Zeolit alam diayak dengan ukuran 50-70 mesh, 70-110 mesh dan 110-120 mesh. Kemudian zeolit dicuci dengan air suling dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 4 jam.

Proses Aktivasi

100 g zeolit alam yang telah diayak kemudian diaktivasi dengan larutan 300 ml HCl 0,5 M kemudian diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama 30 menit. Proses aktivasi dijalankan dalam *beaker glass* berpengaduk *magnetic stirrer* dengan pemanas *hot plate*. Setelah itu zeolit didiamkan selama 24 jam lalu dicuci dengan *aquades* hingga pH nya netral ($7 \pm 6,8$), kemudian dikeringkan pada *oven* pada suhu 160°C selama 5 jam. Setelah itu zeolit alam didinginkan dalam desikator selama 2 jam.

Proses Impregnasi

100 g zeolit alam yang telah diaktivasi dimasukkan ke dalam *water bath shaker* ditambahkan larutan garam $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2,5 M sebanyak 300 ml yang diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama 2 jam. Kemudian zeolit didiamkan selama 24 jam, lalu dikeringkan dalam *oven* pada suhu 160°C selama 5 jam. Setelah itu zeolit didinginkan dalam desikator selama 2 jam.

Penentuan Waktu Kontak Optimum

Zeolit alam yang telah diaktivasi dan diimpregnasi sebanyak 0,07% (m/v) dengan ukuran partikel 110-120 *mesh* dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan ditambahkan 100 ml larutan fosfat dengan konsentrasi 10 mg/L. Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 150 rpm selama 15 menit. Kemudian filtrat diambil dengan variasi waktu kontak (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 menit). Daya jerap zeolit alam terhadap fosfat dianalisa menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui kuantitas kadar fosfat pada filtrat.

Penentuan Daya Jerap

Daya jerap zeolit alam yang telah diaktivasi dan diimpregnasi diukur pada berbagai ukuran partikel (50-70 *mesh*, 70-110 *mesh*, dan 110-120 *mesh*) dan berbagai persentasi (0,01%, 0,03%, 0,05%, 0,07%, 0,09%, 0,11%, 0,13% (m/v)) dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan ditambahkan 100 ml larutan fosfat 10 mg/L kemudian diaduk dengan *stirrer* selama 35 menit. Setelah diaduk, filtrat diambil sesuai dengan waktu kontak optimumnya. Daya jerap dianalisa menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui kuantitas kadar fosfat pada filtrat.

Penentuan Model Isoterm

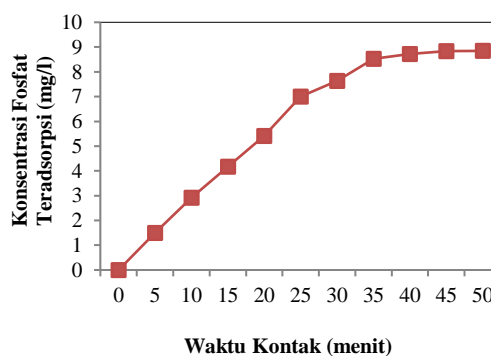
Zeolit alam yang telah diaktivasi dan diimpregnasi sebanyak 0,13% (m/v) dengan ukuran partikel 110-120 *mesh* dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan ditambahkan 100 ml larutan fosfat dengan variasi konsentrasi (2, 4, 6, 8,

dan 10 mg/L). Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 150 rpm selama 15 menit. Kemudian filtrat diambil dengan waktu kontak selama 35 menit. Daya jerap zeolit alam terhadap fosfat dianalisa menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui kuantitas kadar fosfat pada filtrat.

Hasil

Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak optimum adalah waktu minimum yang dibutuhkan adsorben (zeolit) pada saat proses penyerapan adsorbat (fosfat) secara maksimum hingga mencapai keadaan jenuhnya. Pengaruh waktu adsorpsi dapat dilihat dari jumlah konsentrasi fosfat teradsorpsi (mg/L). Jumlah konsentrasi fosfat teradsorpsi akan naik hingga mencapai titik optimum kemudian stabil melewati waktu optimumnya (Gambar 1). Penentuan waktu kontak optimum dilakukan dengan menggunakan zeolit alam setelah diaktivasi dan diimpregnasi sebanyak 0,07% (m/v) ukuran partikel 110-120 *mesh* dengan konsentrasi awal ion fosfat sebesar 10 mg/L. Hubungan waktu kontak dengan konsentrasi ion fosfat teradsorpsi dapat dilihat pada Gambar 1

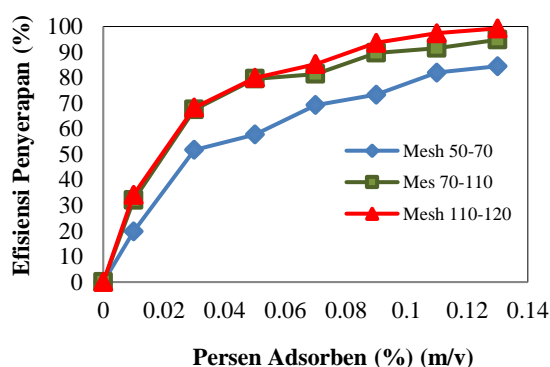


Gambar 1. Hubungan Waktu Kontak Dengan Konsentrasi Fosfat Teradsorpsi

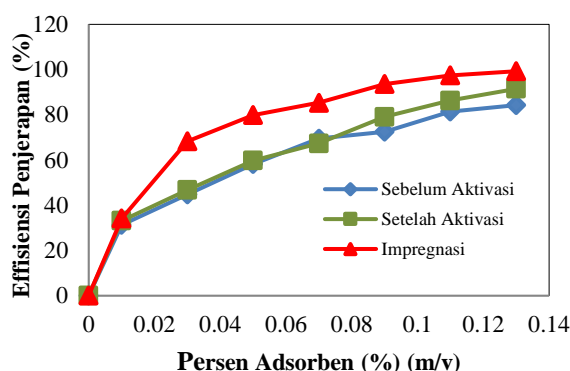
Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat bahwa waktu kontak optimum adalah 35 menit dengan konsentrasi fosfat yang terjerap sebanyak 8,53 mg/L (85,303%). Lamanya waktu kontak optimum yang dibutuhkan karena ukuran dari molekul (PO_4^{3-}) yang besar sehingga memerlukan waktu yang cukup panjang untuk mencapai kestabilan ikatan pada permukaan adsorben.

Efisiensi Penjerapan Fosfat

Grafik pengaruh dosis adsorben terhadap efisiensi penyerapan pada berbagai ukuran partikel dan berbagai perlakuan (Sebelum Aktivasi, Setelah Aktivasi dan Setelah Impregnasi) adsorben dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3



Gambar 2. Hubungan Efisiensi Penyerapan Ion Fosfat terhadap Dosis Adsorben pada Berbagai Ukuran Partikel Adsorben



Gambar 3. Hubungan Efisiensi Penyerapan Ion Fosfat terhadap Dosis Adsorben pada Berbagai Perlakuan Adsorben

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa efisiensi penyerapan pada berbagai ukuran partikel cenderung meningkat. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa efisiensi penyerapan pada berbagai perlakuan cenderung meningkat. Pada Gambar 3 adsorben yang digunakan merupakan adsorben dengan ukuran partikel 110-120 *mesh*.

Pada penelitian ini diperoleh efisiensi penyerapan terendah terjadi pada adsorben setelah diaktivasi dan di impregnasi dengan dosis adsorben 0,01% dan ukuran partikel 50-70 *mesh* yaitu sebesar 19,83% dan efisiensi penyerapan tertinggi adalah pada adsorben setelah impregnasi dengan dosis adsorben 0,13% dan ukuran partikel 110-120 *mesh* yaitu sebesar 99,26%.

Terlihat bahwa dosis yang lebih besar dapat menghasilkan efisiensi penyisihan yang lebih besar pula. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya massa adsorben sebanding dengan bertambahnya jumlah partikel dan luas permukaan adsorben sehingga menyebabkan jumlah tempat mengikat ion juga bertambah dan efisiensi penyisihan pun meningkat [10].

Semakin kecil ukuran partikel adsorben maka semakin banyak pori yang terdapat pada adsorben tersebut, sehingga adsorbat yang terjerap semakin banyak [11]. Pada Gambar 2 terlihat bahwa perbedaan ukuran partikel pada adsorben memberikan perbedaan hasil yang tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan perbedaan ukuran antar partikel tidak terlalu besar sehingga hasil yang didapat tidak berbeda secara signifikan. Gambar 3 terlihat bahwa terdapat grafik yang berimpit. Hal ini dikarenakan zeolit alam sebelum aktivasi dan setelah aktivasi tidak memberikan perbedaan efisiensi yang signifikan. Tetapi pada zeolit yang telah terimpregnasi terlihat perbedaan yang signifikan. Hal ini telah dibuktikan oleh Pham, et.al (2019) melakukan penyerapan fosfat menggunakan zeolit tanpa dimodifikasi dan zeolit dimodifikasi Lanthanum, ion fosfat yang terjerap sebesar 106,2 mgP/g, yaitu pada zeolit dimodifikasi Lanthanum [5].

Efisiensi penyerapan tertinggi diperoleh pada zeolit yang telah diaktivasi dan diimpregnasi, hal ini dikarenakan zeolit yang telah diaktivasi dan diimpregnasi mempunyai nilai rasio Si/Al yang tinggi. Peningkatan rasio Si/Al diikuti dengan peningkatan kemampuan adsorpsi karena penurunan Al pada situs aktif Si-O-Al menyebabkan transformasi situs aktif menjadi Si-O-Si sehingga zeolit cenderung bersifat hidrofobik [8]. Dimana molekul hidrofobik baik digunakan untuk proses pemisahan kimia untuk menghilangkan zat non polar dari senyawa polar.

Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi yang berlangsung diuji dengan model isotherm Freundlich dan Langmuir. Model isotherm Freundlich ditunjukkan oleh Persamaan (1) berikut ini [10].

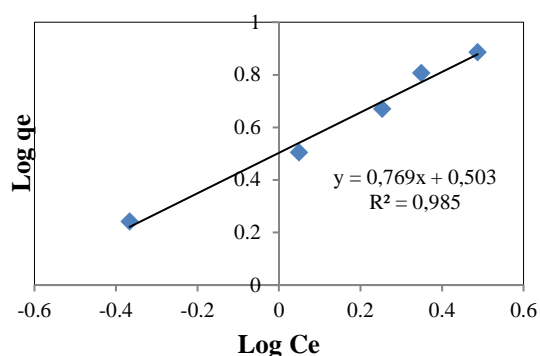
$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \dots \dots \dots (1)$$

dimana q_e adalah jumlah fosfat yang terjerap per berat massa adsorben (mg/g), C_e adalah konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L), K_f adalah konstanta adsorpsi pada multilayer dan $1/n$ adalah konstanta indikatif dari intensitas adsorpsi.

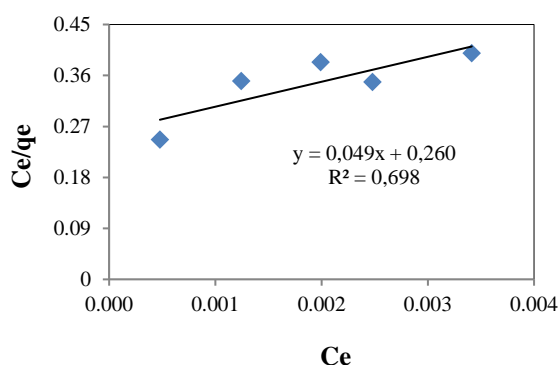
Model isotherm Langmuir ditunjukkan oleh Persamaan (2) berikut ini [10].

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_m} + \frac{1}{q_m} C_e \dots \dots \dots (2)$$

Isoterm Freundlich dan Isoterm Langmuir dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5



Gambar 4. Isoterm Freundlich



Gambar 5. Isoterm Langmuir

Dari nilai koefisien korelasi (R^2) tersebut dapat diketahui model persamaan kesetimbangan mana yang dapat mewakili reaksi yang terjadi pada penelitian ini. Nilai R^2 dari model Freundlich lebih mendekati 1 dibandingkan model isoterm Langmuir.

Dari gambar di atas terlihat nilai R^2 pada isotherm Freundlich sebesar 0,985 lebih tinggi dari isotherm Langmuir yaitu 0,698. Hal ini menunjukkan bahwa proses penyerapan ion fosfat ke permukaan zeolit terjadi dalam bentuk *multilayer*.

Dari gambar Isoterm Freundlich diperoleh persamaan linier $y = 0,769x + 0,503$. Dari harga intercept akan didapat nilai K_f begitu juga dengan nilai n . Diperoleh persamaan Freundlich $\log(q_e) = 0,769 \log C_e - 0,503$ serta harga konstanta dari persamaan tersebut seperti terlihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Harga Konstanta Freundlich

Isoterm	Konstanta	Harga
Freundlich	K_f	3,18
	n	1,30

Model persamaan Freundlich mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan sisi bersifat heterogen. Oleh karena itu penentuan daya adsorpsi maksimum zeolit pada proses penyerapan ion fosfat dihitung dengan menggunakan

persamaan adsorpsi Freundlich karena dilakukan terhadap lapisan *multilayer* zat yang teradsorpsi dari ion fosfat pada setiap permukaan zeolit dalam satuan mg ion fosfat yang teradsorpsi/gram zeolit.

Kesimpulan

Waktu kontak optimum zeolit alam yang telah diaktivasi dan diimpregnasi dengan ukuran partikel 110-120 *mesh* sebanyak 0,07% (m/v) adalah 35 menit dengan konsentrasi fosfat yang terjerap sebanyak 8,53 mg/L (85,303%).

Efisiensi penyerapan tertinggi zeolit alam terhadap fosfat pada berbagai ukuran partikel adalah pada ukuran partikel 110-120 *mesh*. Efisiensi penyerapan tertinggi zeolit alam terhadap fosfat pada berbagai perlakuan adalah pada zeolit alam yang telah diaktivasi dan diimpregnasi yaitu sebesar 99,26%.

Model isoterm Freundlich menunjukkan nilai $R^2 = 0,985$ sedangkan model isotherm Langmuir menunjukkan nilai $R^2 = 0,698$. Berdasarkan hal tersebut adsorpsi fosfat oleh zeolit yang telah diaktivasi dan diimpregnasi lebih sesuai dengan model isotherm Freundlich, yang menunjukkan bahwa molekul adsorbat diikat oleh permukaan adsorben dan akan membentuk lapisan *multilayer*.

Daftar Pustaka

- [1] S. S. Budi, "Penurunan Fosfat Dengan Penambahan Kapur (Lime), Tawas dan Filtrasi Zeolit Pada Limbah Cair," Universitas Diponegoro, 2006.
- [2] Fatimah, B. P. Tarigan, and A. Ramadhan, "Aktivasi Bottom Ash dari Pembakaran Batubara untuk Menurunkan Kandungan Senyawa Fosfat dalam Air," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 08, no. 2, 2019.
- [3] W. S. Atikah, "Potensi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi Sebagai Meid Adsorben Pewarna Tekstil," *Arena Tekst.*, vol. 32, pp. 17–24, 2017.
- [4] M. Yang, J. Lin, Y. Zhan, and H. Zhang, "Adsorption of phosphate from water on lake sediments amended with zirconium-modified zeolites in batch mode," *Ecol. Eng.*, vol. 71, pp. 223–233, 2014, doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.07.035.
- [5] T. Pham, K. Lee, M. Sik, J. Seo, and C. Lee, "Microporous and Mesoporous Materials La-modified ZSM-5 zeolite beads for enhancement in removal and recovery of phosphate," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 279, no. June 2018, pp. 37–44, 2019, doi: 10.1016/j.micromeso.2018.12.017.
- [6] M. Faisal, Suhartama, and Pardoyo, "Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Zeolit Alam

- Termodifikasi Logam Fe sebagai Adsorben Fosfat (PO 4³⁻) pada Air Limbah,” *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 18, no. 3, pp. 91–95, 2015, [Online]. Available: <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/ksa>.
- [7] M. S. A. Pohan, Sutarno, and Suyanta, “Studi Adsorpsi-Desorpsi Anion Fosfat pada Zeolit Termodifikasi CTAB,” *J. Penelit. Sains*, vol. 18, no. No 3, pp. 123–135, 2016.
- [8] D. Y. Lestari, “Kajian modifikasi dan karakterisasi zeolit alam dari berbagai negara,” in *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2010*, 2010, [Online]. Available: www.kimia.uny.ac.id.
- [9] P. J. Laksono, “Pemanfaatan Zeolit Alam Termodifikasi Surfaktan HDTMA-Br (Hexadecyltrimethylammonium Bromide) Sebagai Adsorben Anion Nitrat (NO₃⁻),” *J. Pendidik. Kim.*, vol. 1, no. No 2, pp. 40–50, 2017.
- [10] N. L. Zahra, D. Sugiyana, and S. Notodarmojo, “Adsorpsi Zat Warna Tekstil Reactive Red 141 Pada Tanah Liat Lokal Alami,” *Arena Tekst.*, vol. 29, no. No 2, pp. 63–72, 2014.
- [11] Wardalia, “Karakterisasi Pembuatan Adsorben Dari Sekam Padi Sebagai Pengadros Logam Timbal Pada Limbah Cair,” *J. Integr. Proses*, vol. 6, no. 2, pp. 83–88, 2016, [Online]. Available: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>.