

KINETIKA ADSORPSI ION FOSFAT MENGGUNAKAN BATU KAPUR KECAMATAN SEMANDING KABUPATEN TUBAN

Erwanto^{1*}, Aprilia Nur Azizah¹

¹Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Universitas Bojonegoro, Jalan Lettu Suyitno No.02, Bojonegoro, Indonesia

*Corresponding author: erwantokimia@gmail.com

Abstrak. Adanya ion fosfat dalam air dapat menimbulkan kerusakan lingkungan, sehingga dilakukan upaya untuk menghilangkan ion fosfat tersebut. Salah satu yang banyak dikembangkan adalah penggunaan adsorben yang dapat menyerap kandungan ion fosfat dengan bahan yang mudah diperoleh dan dibuat dengan mudah yaitu batu kapur. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari model adsorpsi batu kapur alam asal Kecamatan Semanding Kabupaten Tuban terhadap ion fosfat. Adsorben batu kapur alam diaktivasi secara fisik (Ads1) dan kimia (Ads2) yaitu dengan pemanasan pada suhu 900° selama 4 jam dan penambahan asam sulfat 0,1 M. Barulah dilakukan uji kemampuan adsorpsi batu kapur terhadap ion fosfat. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan adanya perbedaan fasa kristal. Batu kapur Ads0 tanpa aktivasi mempunyai fasa kalsit sama dengan Ads1, sedangkan Ads2 mempunyai fasa gipsum. Nilai keasaman (Ka) tertinggi adalah Ads2 sebesar $2,5584 \pm 0,0122$ mg/g, dan luas permukaan tertinggi adalah Ads1 sebesar $28,6106$ m²/g. Sedangkan pola adsorpsi batu kapur mengikuti persamaan isoterm Langmuir, dengan nilai koefisien linier (R^2) = 0,9701

Kata kunci : batu kapur, adsorpsi, ion fosfat.

Abstract. The presence of phosphate ions in water can cause environmental damage, so efforts are made to remove phosphate ions. One that is widely developed is the use of adsorbents that can absorb phosphate ion content with materials that are easily obtained and made easily, namely limestone. This study aims to study the adsorption model of natural limestone from Semanding District, Tuban Regency, to phosphate ions. Natural limestone adsorbents are activated physically (Ads1) and chemically (Ads2), namely by heating at 900° for 4 hours and the addition of 0.1 M sulfuric acid. Only then was the test of the adsorption ability of limestone to phosphate ions. The XRD characterization results show crystal phase differences. Ads0 limestone without activation has a calcite phase, equal to Ads1, while Ads2 has a gypsum phase. The highest acidity (Ka) value was Ads2, at 2.5584 ± 0.0122 mg/g, and the highest surface area was Ads1, at 28.6106 m²/g. While the limestone adsorption pattern follows the Langmuir isotherm equation, with the value of the linear coefficient (R^2) = 0.9701.

Keywords: limestone, adsorption, phosphate ion.

1. PENDAHULUAN

Ion fosfat (PO_4^{3-}) merupakan salah satu jenis polutan utama dalam air yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan kesehatan manusia jika terdapat dalam jumlah yang berlebihan [1][2]. Konsentrasi fosfat yang tinggi dalam air dapat menyebabkan eutrofikasi, yaitu pertumbuhan berlebihan alga dan gangguan ekosistem air [3]. Oleh karena banyak dikembangkan metode untuk menurunkan fosfat dari air untuk menjaga kualitas air, satu diantaranya adalah pengembangan adsorben berbasis bahan alam (biosorben) yang ketersediaannya mudah didapatkan [4].

Beberapa material bahan alam dikembangkan untuk adsorben diantaranya tanah gambut, batu kapur, zeolit dan karbon teraktivasi [5]. Namun, batu kapur yang sering dikembangkan untuk mengadsorpsi ion fosfat, bahkan dapat menurunkan kadar fosfat dalam limbah cair rumah sakit mencapai 97,92% [6]. Hal itu dikarenakan batu kapur tersusun dari unsur kimia yaitu CaCO_3 , yang apabila diaktivasi dapat membentuk CaO , sehingga CaO inilah yang berperan dalam mengadsorpsi ion fosfat [7][8].

Melihat potensi batu kapur tersebut maka, pada penelitian ini kami akan menggunakan batu kapur dari kecamatan Semanding, Kabupaten Tuban, Jawa Timur, yang memiliki potensi batu kapur sangat signifikan. Pemetaan potensi batu kapur menggunakan citra satelit Landsat 8 menunjukkan bahwa Kabupaten Tuban memiliki potensi batu kapur yang dibagi menjadi lima kelas, yaitu potensi sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi [9]. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa Kecamatan Semanding memiliki potensi tinggi, dengan besaran prosentase 41% [10]. Dari

potensi batu kapur tersebut akan dilakukan aktivasi secara fisika dan kimia kemudian dilakukan studi kinetika adsorpsi ion fosfat dengan mempelajari waktu adsorpsi dan kajian konsentrasi adsorbat berat konstan.

2. METODOLOGI

Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah neraca analitik (Electronic Balance JA3003), ayakan $100\ \mu\text{m}$, penggerus porselin, magnetic stirrer (Cimarec), gelas beker (Herma), labu ukur (Iwaki), pipet tetes, pipet mohr (Iwaki CTE33 ashahi glass, made in Indonesia), bola hisap (D&N made in germany), spatula, spektrofotometer UV-Vis (722 Vis Spectrophotometer), furnace (B-One operation manual mini muffle furnace mini 1210), X-Ray Diffraction (Bruker D2 Phaser), dan kertas saring

Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu kapur yang diambil dari Kecamatan Semanding, Kabupaten Tuban, methylene blue, larutan NaOH, indikator phenolphthalein, larutan HCl, aquades, dan H_2SO_4 .

Cara Kerja

Aktivasi batu kapur

Batu kapur yang diperoleh dari Kecamatan Semanding Kabupaten Tuban dibersihkan dengan menggunakan air mengalir dan dipisahkan dari membrannya. Batu kapur yang telah bersih tersebut kemudian dicuci dengan akuades dan dikeringkan di udara bebas. Proses selanjutnya melibatkan penghancuran batu kapur menggunakan cawan porselin dan penyaringan dengan ayakan berukuran 100 mesh. Setelah itu, batu kapur dibagi menjadi tiga bagian, diberi label Ads0 untuk yang

tidak dilakukan aktivasi, label Ads1 untuk yang akan diaktivasi secara fisika, dan label Ads2 untuk yang akan diaktivasi secara kimia.

Pada bagian yang diberi label Ads0, diambil 1/3 bagian dari sampel tersebut dan ditempatkan dalam wadah yang selanjutnya diberi label Ads0. Proses aktivasi fisika dilakukan dengan kalsinasi atau pemanasan pada suhu 600 °C selama 4 jam untuk bagian yang diberi label Ads1, dan hasilnya ditempatkan dalam wadah yang diberi label Ads1.

Sementara itu, aktivasi kimia dilakukan dengan menambahkan larutan asam H₂SO₄ 0,1 M sebanyak 60 mL ke dalam 1000 mL akuades, lalu batu kapur direndam selama 2 jam. Setelah itu, batu kapur dicuci dengan akuades dan menjalani proses pembakaran selama 2 jam pada suhu 120 °C. Hasilnya ditempatkan dalam wadah yang diberi label Ads2. Proses ini relevan dengan ruang lingkup pengetahuan alam terutama dalam konteks kimia dan proses fisik yang terlibat dalam aktivasi batu kapur.

Karakterisasi batu kapur

XRD

Sampel batu kapur Kecamatan Semanding, Kabupaten Tuban yang tidak di aktivasi (Ads0), di aktivasi fisika (Ads1), dan aktivasi kimia (Ads2) dikarakterisasi menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD), dengan sudut difraksi 2θ antara 4,922-89,972°. Sumber radiasi yang digunakan adalah Cu K α 1 dengan panjang gelombang λ 1,540598 Å.

Penentuan Keasaman Permukaan

Penentuan keasaman permukaan dilakukan dengan cara menimbang batu kapur Ads0, Ads1, dan Ads2 masing-masing sebanyak 0,05 gram. Kemudian masing-masing batu kapur dimasukkan ke dalam gelas beker. Selanjutnya masing-masing sampel

batu kapur yang ada didalam gelas beker ditambahkan 10 mL larutan HCl 0,1 N. Setelah itu, diaduk dengan menggunakan magnetik stirrer selama 15 menit. Setelah selesai pengadukan ditambahkan 1 hingga 2 tetes indikator *phenolphthalein*. Dan dilakukan titrasi dengan larutan NaOH 0,1 N hingga berwarna merah muda. Dan terakhir dihitung keasaman dengan persamaan:

$$\text{Bilangan asam (mg NaOH/g)} = \frac{V \times N \times 39,9}{W}$$

Dengan:

V = Volume NaOH
N = Normalitas NaOH
W = Berat sampel (mg)
39,9 = Mr NaOH

Penentuan Luas Permukaan

Penentuan luas permukaan dilakukan dengan cara masukkan 0,1 gram serbuk batu kapur Ads0, Ads1, dan Ads2 ke dalam 20,0 mL larutan metilen biru 15 ppm. Selanjutnya diaduk dengan waktu yang bervariasi 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 menit. Kemudian larutan disaring dan diukur absorbansinya untuk mendapatkan berat teradsorpsi maksimum *mg/g* dan dimasukkan dalam persamaan berikut:

$$S = \frac{W_{ads} \cdot N \cdot a}{Mr}$$

Dengan:

S = Luas permukaan adsorben (*m²/g*)

W_{ads} = Berat adsorbat yang terserap oleh 1 gram sampel (*g/g*)

N = Bilangan Avogadro ($6,022 \times 10^{23}$ *Atom/mol*)

a = Luas penampang lintang adsorbat (*m²/molekul*)

Mr = Massa molekul relatif adsorbat (*g/mol*) (Suarya, et al., 2020)

Adsorpsi Ion Fosfat

Penentuan waktu kontak optimum

Dilakukan dengan menambahkan 0,5 g serbuk dari tiga jenis adsorben yang disebutkan, yaitu Ads0, Ads1, dan Ads2 ke dalam gelas Erlenmeyer yang berisi 25 mL larutan standar fosfat dengan konsentrasi 70 ppm. Campuran tersebut diaduk dengan memvariasikan waktu pengadukan pada interval 0, 15, 30, 45, dan 60 menit. Selanjutnya, konsentrasi fosfat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Penentuan kapasitas adsorben

Sebanyak 0,5 gram Adsorben Ads0, Ads1, dan Ads2 dicampur dengan 25 mL larutan standar fosfat, dan kemudian diaduk selama 30 menit. Larutan standar fosfat memiliki konsentrasi berturut-turut sebesar 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, dan 100 ppm. Filtrat yang dihasilkan dari campuran tersebut diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Data pola isoterm adsorpsi diterapkan ke persamaan linier isoterm adsorpsi Langmuir, dan dengan memplot konsentrasi terhadap rasio konsentrasi adsorben terhadap massa adsorben (C/m), kapasitas adsorpsi dapat ditentukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

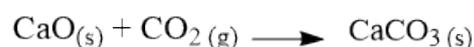
Aktivasi batu kapur

Aktivasi batu kapur dapat meningkatkan peranannya sebagai adsorben dengan meningkatkan luas permukaan spesifik dan tingkat keasaman permukaan. Hal ini mengakibatkan peningkatan daya adsorpsi batu kapur tersebut. Pada penelitian ini batu kapur dilakukan aktivasi secara fisika dan kimia, aktivasi secara fisika dengan dilakukan pemanasan (kalsinasi) pada suhu 900° selama 4 jam bertujuan untuk membuka pori-pori dan mengubah CaCO_3 penyusun batu

kapur alam menjadi CaO . Sedangkan aktivasi kimia menggunakan asam sulfat bertujuan untuk melarutkan pengotor dalam bahan serta membuka pori-pori dari batu kapur alam. Pada aktivasi kimia juga dilakukan kalsinasi pada suhu 900°C , dimana sama sama bertujuan agar terjadi reaksi sebagai berikut :



Proses aktivasi fisika dan kimia berbeda dengan proses karbonisasi yang berlangsung secara eksotermik yang bertujuan menghilangkan zat-zat volatil yang terkandung dalam logam dasarnya. Selain itu reaksinya juga berbeda dengan proses aktivasi, dimana karbonisasi adalah kebaikandari reaksi aktivasi:



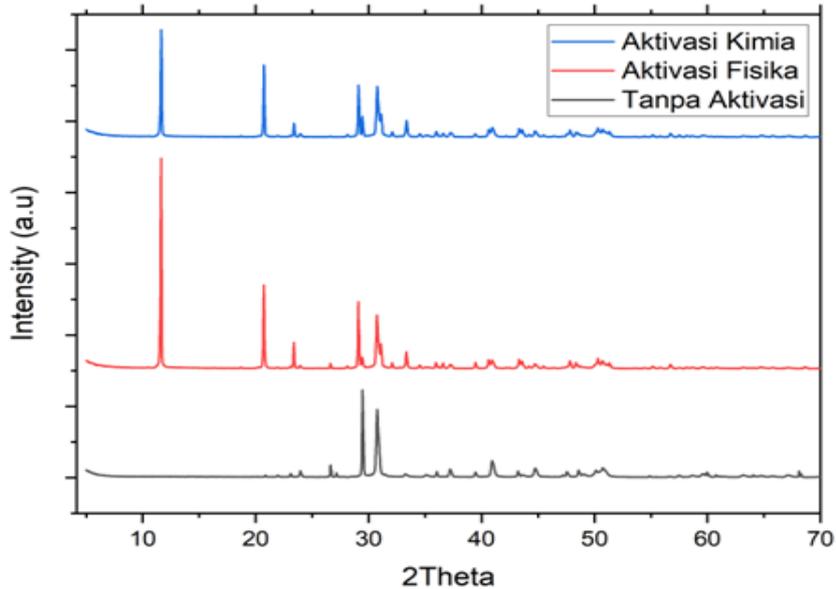
Karakterisasi batu kapur

XRD

Hasil analisis pola XRD pada sampel batu kapur Ads0 menunjukkan adanya mineral karbonat dengan fase dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), yang dapat dikenali dari pola difraksi pada sudut 2θ di sekitar $29,48^{\circ}$ dengan intensitas puncak mencapai 1000 cps. Pola difraksi ini mirip dengan hasil yang dilaporkan oleh Kayadoe (2021) pada batu kapur (tanah putih) dari Kabupaten Maluku Tenggara, yang memiliki difraksi pada sudut $29,4753^{\circ}$ dengan intensitas 100%[11]. Sementara itu, hasil XRD pada sampel Ads1 menunjukkan pergeseran sudut 2θ ke $30,45^{\circ}$ dengan intensitas 784 cps. Pergeseran ini lebih besar ke arah kanan jika dibandingkan dengan sampel tanpa aktivasi dan hasil XRD dari sampel dengan perlakuan serupa yang dilaporkan oleh Noviyanti (2015) dalam kisaran 29° [12]. Meskipun demikian, struktur kristal dan Indeks

Miller pada kedua sampel tetap sama, seperti tercantum dalam tabel 1. Adapun Ads2 dengan penambahan larutan H₂SO₄ 0,1 N menghasilkan pola difraksi pada sudut 2θ sekitar 11,633° dengan intensitas puncak mencapai 1000 cps. Puncak ini

mengindikasikan adanya fase gypsum (CaSO₄·2H₂O), sebuah mineral sulfat. Keberadaan puncak tertinggi menunjukkan bahwa terdapat kandungan SO₄ pada sampel batu kapur setelah aktivasi kimia.



Gambar 1. Batu kapur tanpa aktivasi (hitam), aktivasi fisika (merah) dan aktivasi kimia (biru)

Tabel 1 Struktur Kristal dan Indeks Miller sampel batu kapur

Sampel	2θ	Struktur kristal	Indeks Miller
Ads0	29.4753	trigonal	102
Ads1	30.45	trigonal	102
Ads2	11.633	monoklinik	011

Penentuan Keasaman Permukaan

Penentuan keasaman dilakukan dengan metode titrasi asam basa, dari penentuan tersebut diperoleh hasil sebagaimana tabel 2, dimana terjadi peningkatan nilai keasaman, hal ini sama dengan aktivasi batu kapur alam yang dilakukan oleh suarya (2020) yang menunjukkan adanya kenaikan nilai asam ketika dilakukan aktivasi pada sampel batu kapur [7]. Peningkatan tersebut disebabkan terbentuknya situs aktif pada pori batu kapur melalui proses aktivasi kimia

fisika maupun kimia. Kalsinasi suhu 900°C berfungsi membuka pori-pori batu kapur dan mengubah CaCO₃ menjadi CaO untuk memudahkan larutnya pengotor yang terperangkap di pori-pori batu kapur. Proses pemanasan juga akan berkontribusi terhadap pembentukan asam Bronsted dan asam Lewis. Terbentuknya pusat asam Bronsted mungkin disebabkan oleh transfer proton pada batu kapur akibat berkurangnya jumlah molekul air pada CaO dan beberapa molekul air mengalami

dehidrasi selama pemanasan. Pada suhu tinggi, permukaan batu kapur akan mengalami dehidroksilasi

sehingga mengubah pusat asam Bronsted menjadi asam Lewis [13].

Tabel 2. Nilai keasaman adsorben batu kapur

Jenis Adsorben	K _a (mmol/g)	Situs Asam (10 ²⁰ atom/g)
Ads0	0,7704 ± 0,0258	4,6393
Ads1	1,7053 ± 0,0829	10,2693
Ads2	2,5584 ± 0,0122	15,4066

Penentuan Luas Permukaan

Permukaan batu kapur yang paling tinggi diperoleh pada Ads1, sedangkan Ads2 memiliki luas permukaan yang masih lebih bagus dibandingkan dengan Ads0, akan tetapi masih lebih luas Ads1 sebagaimana tabel 3. Peningkatan luas permukaan ini terjadi dikarenakan adanya pembukaan pori batu kapur dan perubahan batu kapur dari CaCO₃ menjadi CaO yang disertai terikatnya proton. Namun pada aktivasi kimia adanya penambahan asam sulfat mampu melepaskan pengotor lain dari kisi

kristal sehingga terjadi peningkatan luas permukaan, dan nilai luas permukaan yang masih lebih kecil dari aktivasi fisika adalah masih adanya kandungan sulfat pada batu kapur, hal itu diperkuat dengan analisis XRD sampel Ads2 yang memiliki fasa kristal berbentuk gipsum. Sehingga pori-pori yang sudah terbuka belum optimal dikarenakan masih ditempati oleh molekul SO₄²⁻ sisa dari penambahan asam sulfat pada proses aktivasi kimia. Hal ini bisa disebabkan karena suhu kalsinasi yang kurang tinggi dan waktu kalsinasi yang kurang lama.

Tabel 3. Nilai Luas Permukaan Spesifik Adsorben

Sampel	Luas permukaan (s m ² /g)
Ads0	13,9920
Ads1	28,6106
Ads2	21,5572

Adsorpsi Ion Fosfat

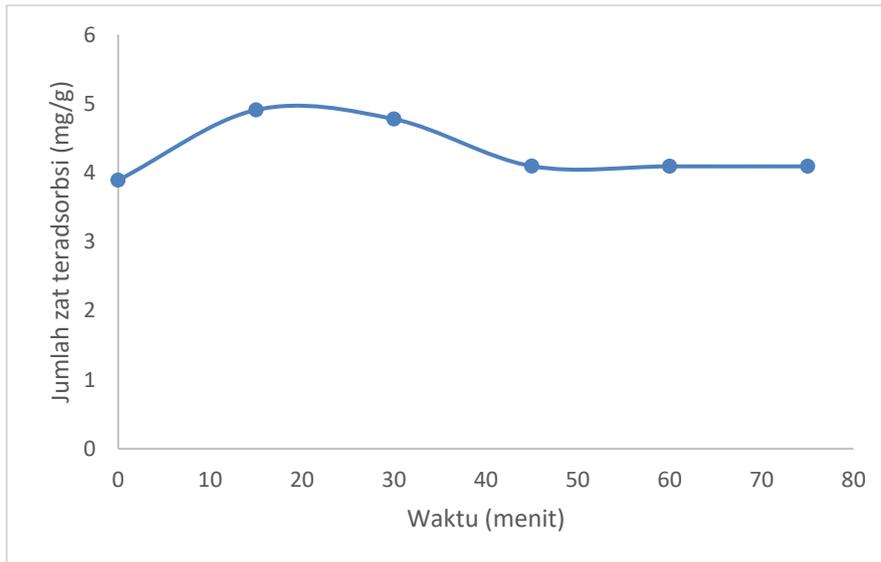
Penentuan waktu kontak optimum

Waktu kontak adsorpsi merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap proses penyerapan. Pengaruh dari waktu kontak optimum dapat diidentifikasi melalui perubahan konsentrasi logam kobalt yang teradsorpsi dalam larutan selama variasi waktu. Gambar tersebut menunjukkan efektivitas adsorpsi batu kapur yang sudah diaktivasi kimia. Diketahui bahwa pada menit ke-15 efektivitas adsorpsinya 4,908 mg/g yang menunjukkan juga bahwa waktu tersebut merupakan waktu kontak optimum batu kapur Ads1 dapat

menyerap secara maksimal, namun pada menit 30 keatas presentasi adsorpsi menurun. Berdasarkan teori semakin lamanya waktu kontak maka dimungkinkan proses difusi dan pelekatan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Selain itu semakin kecil ukuran partikel batu kapur yang digunakan maka semakin besar kecepatan adsorpsinya sehingga dalam waktu 15 menit sudah terbentuk waktu yang optimum. Adanya penurunan adsorpsi pada menit 20 keatas diperkirakan terjadi karena adsorben batu kapur sudah penuh mengikat ion sulfat atau sudah jenuh, bahkan fosfat yang sudah terikat pada adsorben batu kapur bisa mengalami desorpsi terhadap ion

fosfat, waktu kontak optimum yang diperoleh pada proses adsorpsi Ads1 ini juga sudah sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang

menggunakan lempung aktif dan batu kapur teraktivasi diperoleh waktu optimum 15 menit [14][7]

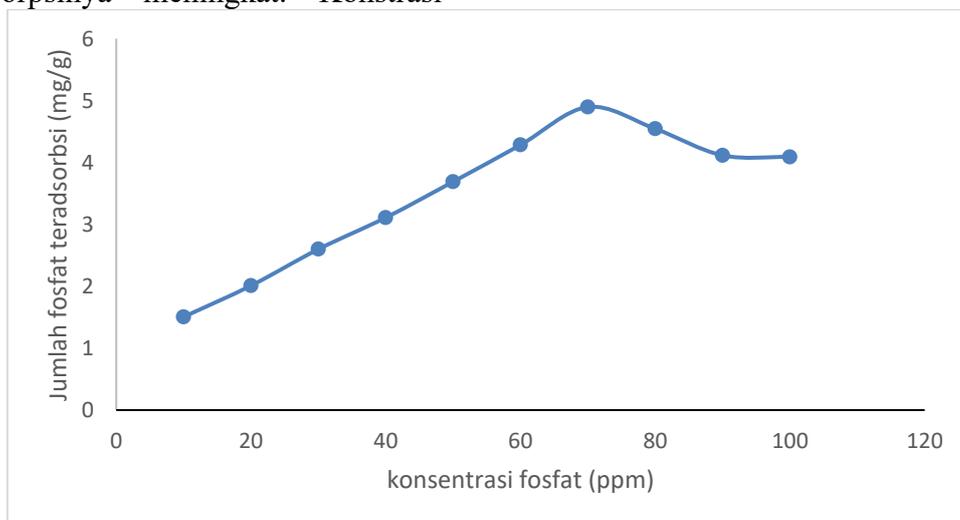


Gambar 2 Hubungan antara waktu kontak dan jumlah adsorpsi batu kapur teraktivasi fisika terhadap ion fosfat (mg/g)

Konsentrasi optimum fosfat

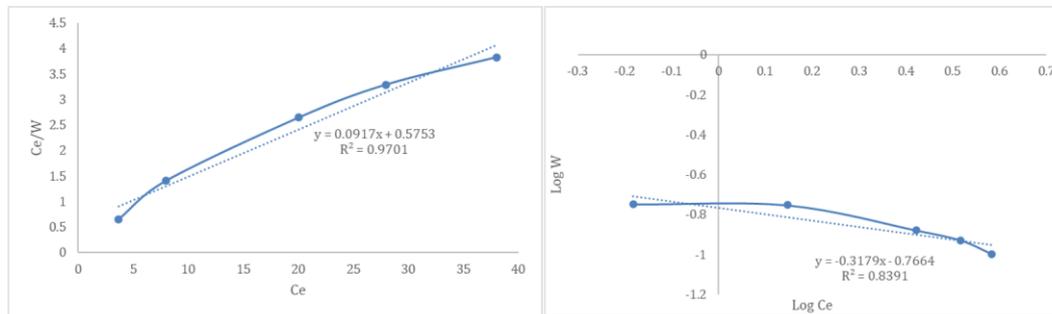
Pengaruh konsentrasi optimum fosfat terhadap banyaknya fosfat yang teradsorpsi pada batu kapur Ads1 dapat diamati pada gambar 3 yang menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi larutan fosfat maka semakin banyak partikel CaO yang bertumbukan dan berinteraksi dengan fosfat, sehingga kemampuan adsorpsinya meningkat. Konstrasi

optimum ditunjukkan pada konsentrasi 70 ppm dengan kapasitas adsorpsi 4.896 mg/g. Hal ini disebabkan karena permukaan batu kapur telah jenuh dengan fosfat sehingga ada fosfat yang mengalami desorpsi, hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya bahwa fosfat memiliki konsentrasi optimum berkisar 70 ppm [7].



Gambar 3. kurva fosfat terhadap kapasitas variasi konsentrasi adsorpsi

Erwanto et al / Kinetika Adsorpsi Ion Fosfat Menggunakan Batu Kapur Kecamatan Semanding Kabupaten Tuban
Penentuan kapasitas adsorben



Gambar 4. Pola adsorpsi isotherm langmuir (gambar kiri) dan Isotherm freundlich (gambar kanan)

Dalam penentuan kapasitas adsorben ini ditentukan menggunakan melalui pola adsorpsi dengan teori *Isotherm Langmuir* dan *Isotherm Freundlich* sebagaimana Gambar 4 yang menunjukkan bahwa adsorpsi batu kapur mengikuti persamaan *langmuir* daripada *freundlich* karena koefisien liniernya (R^2) lebih mendekati 1 yaitu 0,9701. Sehingga bisa diasumsikan

bahwa situs aktif pada permukaan adsorben bersifat monolayer dan tidak ada adsorpsi lebih lanjut yang dapat dilakukan situs tersebut. Hal ini juga sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menunjukkan pola adsorpsi batu kapur terhadap ion fosfat adalah *isotherm langmuir* [7].

4. KESIMPULAN

Batu kapur teraktivasi kimia memiliki bentuk fasa kristal gipsium berbeda dengan yang tidak dilakukan aktivasi dan diaktivasi kimia yang fasanya berbentuk kalsit, hal itu disebabkan masih adanya ion sulfat pada aktivasi kimia. Penggunaan batu kapur teraktivasi fisika (Ads1) untuk adsorpsi ion fosfat memiliki waktu kontak optimum 15 menit dan konsentrasi fosfat maksimum 70 ppm. Sedangkan untuk kapasitas adsorpsi batu kapur teraktivasi fisika (Ads1), pola adsorpsinya mengikuti *isotherm langmuir*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada, keluarga, dosen dan staff di program studi Kimia FST Universitas Bojonegoro yang telah membantu dan membimbing selama pengerjaan penelitian ini, khususnya mahasiswa yang bernama Aprilia Nur

Azizah yang telah membantu riset di Laboratorium,

6. DAFTAR PUSTAKA

- Sari, R. S., Wulandari, S. Y., Maslukah, L., Kunarso, K., & Wirasatriya, A. (2022). Konsentrasi Ion Fosfat di Perairan Wiso, Ujungbatu, Jepara. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(1), 88–95. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i1.13233>
- Pemerintah Republik Indonesia. (2001). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. *Peraturan Pemerintah tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*, 1–22.
- Piranti, A. S., Soedarmadji, S., Waluyo, G., & Suwardi, S. (2015). Transport Nutrien

Erwanto et al / Kinetika Adsorpsi Ion Fosfat Menggunakan Batu Kapur Kecamatan Semanding Kabupaten Tuban

- penyebab Eutrofikasi dari Daerah Tangkapan Air Waduk Mrica Banjarnegara. *Biosfera*, 32(1), 66. <https://doi.org/10.20884/1.mib.2015.32.1.297>
- Aini, N., Rahayu, A., & Jamilatun, S. (2022). Potensial Biosorben Dalam Removal Fosfat Dengan Metode Adsorpsi: a Review. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 23–28. Retrieved from <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>
- Rosli, A. M. (2017). Potensi Tanah Gambut, Batu Kapur, Zeolit Dan karbon Teraktif Sebagai Penjerap Komposit Untuk Merawat Larut Resapan, (September).
- Millero, F., Huang, F., & Zhu, X. (2001). Adsorption and Desorption of Phosphate on Calcite and Aragonite in Seawater. *Aquatic Geochemistry*, 7(1), 33–56. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.11.005>
- Suarya, P., Putra, A. A. B., & Mahadewi, N. L. P. (2020). Studi Adsorpsi Ion Fosfat Oleh Batu Kapur Bukit Jimbaran. *Jurnal Kimia*, 14(1), 101–106. Retrieved from <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jchem/article/view/57174>
- Heriwati, S. M., Fona, Z., & Adriana, A. (2021). Pemurnian Bioetanol Dari Limbah Kulit Kopi Dengan Menggunakan Zeolit Alam dan Batu Gamping. *Jurnal Teknologi*, 21(2), 52. <https://doi.org/10.30811/teknologi.v21i2.2428>
- Majid, D. Al, & Sukojo, B. M. (2017). Pemetaan Potensi Batuan Kapur Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 di Kabupaten Tuban. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.25051>
- Sukojo, B. M., & Rif'anuddin, S. H. (2019). Pemanfaatan Citra Satelit Quickbird Untuk Pemetaan Potensi Dan Kelayakan Tambang Batuan Kapur (Studi Kasus: Kec. Semanding, Tuban). *Geoid*, 14(2), 6. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v14i2.5959>
- Kayadoe, V. (2021). Karakterisasi Tanah Putih Dari Kabupaten Maluku Tenggara Menggunakan Xrf Dan Xrd. *Molluca Journal of Chemistry Education (MJoCE)*, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.30598/mjocevol11iss1pp1-7>
- Noviyanti. (2015). Karakterisasi Kalsium Karbonat (Ca(CO₃)) dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpo Kecamatan Suppa. *Jurnal sains dan Pendidikan Fisika*, 11(2), 169–172. Retrieved from <https://ojs.unm.ac.id/JSdPF/article/view/1484/552>
- Lowell, S. Shilds, J. E. (1984). *Powder Surface Area and Porosity* (Seconds.). Springer Dordrecht. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-009-5562-2>
- Sinta, I. N., Surya, P., & Santi, S. R. (2015). ADSORPSI ION FOSFAT OLEH LEMPUNG TERAKTIVASI ASAM SULFAT (H₂SO₄). *Jurnal Kimia*, 9(2), 217–225.