



## STUDI KINETIKA ADSORPSI ION STRONSIUM MENGUNAKAN ZEOLIT TERPILAR TITANIUM DIOKSIDA

Kris Tri Basuki<sup>a</sup>, Muni Fatuzzahroh<sup>a</sup>, Dhita Ariyanti<sup>a</sup>, Andri Saputra<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup>Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia

Jalan Babarsari, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55281

<sup>b</sup>Politeknik ATK Yogyakarta

Jalan Prof. Dr. Wirdjono Prodjodikoro, Bantul, Yogyakarta 55188

\*E-mail: andri.saputra@atk.ac.id

Masuk Tanggal : 1 Februari , revisi tanggal : 3 Maret, diterima untuk diterbitkan tanggal : 8 Juni 2022

### Abstrak

Aktivitas pertambangan dapat berpotensi menimbulkan keberadaan *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material* (TENORM). Salah satu radionuklida yang terkandung dalam TENORM adalah stronsium pada air produksi sebagai radionuklida terlarut. Jika masuk dalam tubuh, stronsium bisa menyebabkan penyakit kanker tulang, tumor, dan leukimia. Pada penelitian ini stronsium dihilangkan dari larutan dengan teknik adsorpsi secara batch menggunakan zeolit terpillar titanium dioksida. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinetika adsorpsi stronsium oleh zeolit terpillar titanium dioksida menggunakan tiga model kinetika, yaitu pseudo orde satu, pseudo orde dua, dan model kinetika Langmuir-Hinshelwood. Berdasarkan studi kinetika yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan bahwa adsorpsi stronsium oleh zeolit terpillar titanium dioksida mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan nilai  $k_2$  sebesar 0,6022 (g/mg.menit) dan  $q_e$  secara teoritis sebesar 9,5785 mg adsorbat/g adsorben.

**Kata Kunci:** Adsorpsi, kinetika, stronsium, titanium dioksida, zeolit terpillar

### Abstract

Mining activities can potentially lead to the presence of *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material* (TENORM). One of the radionuclides contained in TENORM is strontium in production water as a dissolved radionuclide. If it enters the body, strontium can cause bone cancer, tumors, and leukemia. In this study, strontium was removed from solution by batch adsorption technique using titanium dioxide pillared zeolite. This study aims to study the kinetics of strontium adsorption by titanium dioxide pillared zeolite using three kinetic models, namely pseudo first order, pseudo second order, and Langmuir-Hinshelwood kinetic model. Based on the kinetic studies that have been carried out, it is concluded that the adsorption of strontium by the titanium dioxide pillared zeolite follows a pseudo second-order kinetic model with a  $k_2$  value of 0.6022 (g/mg.minute) and a theoretical  $q_e$  of 9.5785 mg adsorbate/g adsorbent.

**Keywords:** Adsorption, kinetics, strontium, titanium dioxide, pillared zeolite

## 1. PENDAHULUAN

Aktivitas pertambangan dapat berpotensi menimbulkan keberadaan *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material* (TENORM). TENORM dapat terbentuk sebagai bahan radioaktif yang terkonsentrasi melalui suatu proses produksi. TENORM tersebut terbawa ke permukaan pada air produksi sebagai radionuklida terlarut. Salah satu radionuklida yang terkandung dalam TENORM tersebut adalah

stronsium [1]. Stronsium merupakan radionuklida pemancar radiasi beta murni dan memiliki waktu paruh 28,8 tahun [2]. Stronsium dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pencernaan (*ingestion*) dan efek radiasi yang ditimbulkannya berupa ionisasi tingkat sedang yang menyebabkan penyakit kanker tulang, tumor, dan leukimia [3]. Karena radiotoksitasnya yang tinggi dan waktu paruh yang panjang (relatif lama), maka

penghilangan stronsium dalam suatu lingkungan berair perlu dilakukan.

Studi penghilangan stronsium dalam lingkungan berair (larutan) telah dilakukan menggunakan beberapa teknik, seperti pemisahan membran, penukar ion, presipitasi kimia, dan adsorpsi. Beberapa teknik tersebut, khususnya penukar ion, dipandang membutuhkan biaya yang mahal dan kurang efisien [4]. Sebaliknya, teknik adsorpsi telah terbukti efektif dalam proses penghilangan logam dalam larutan karena prosesnya relatif sederhana, murah, dan dapat bekerja pada konsentrasi rendah [5].

Penelitian yang berfokus pada studi adsorpsi stronsium pernah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya menggunakan berbagai macam adsorben, seperti poliakrilonitril-zeolit [6] dan Ca-alginat [7]. Studi adsorpsi stronsium oleh peneliti sebelumnya seperti menggunakan poliakrilonitril-zeolit [6] telah dilakukan namun kapasitas adsorpsi masih sangat rendah (0,011 mg stronsium/gr adsorben). Selain itu, adsorpsi menggunakan Ca-alginat juga memiliki kapasitas adsorpsi yang masih rendah juga (6,7 mg stronsium/gr adsorben). Peningkatan kapasitas adsorpsi stronsium telah dilakukan oleh Basuki [8] menggunakan zeolit yang terpillar titanium dioksida (9,632 mg stronsium/gr adsorben). Namun, pada studi sebelumnya, Basuki [8] baru mempelajari sintesis dan karakterisasi adsorben, serta kajian mengenai isotherm dan termodinamika adsorpsi stronsium menggunakan zeolit terpillar titanium dioksida. Melanjutkan penelitian yang telah dilakukan [8], penelitian ini berfokus pada studi kinetika adsorpsi strontium menggunakan zeolit terpillar titanium dioksida.

Prediksi kecepatan perpindahan adsorbat dari larutan ke adsorben yang dirancang memerlukan model kinetika adsorpsi. Pengujian efektivitas dan selektivitas dari adsorben untuk mengadsorpsi adsorbat dapat dilakukan menggunakan parameter kinetika adsorpsi. Model kinetika adsorpsi digunakan untuk mengolah data sebagai penentu variabel yang terlibat dalam adsorpsi dan mekanisme adsorpsi yang terjadi sehingga dapat diaplikasikan untuk mengontrol pencemaran. Data kecepatan adsorpsi selain dapat digunakan untuk memahami kemungkinan mekanisme reaksi adsorpsi yang terlibat, data ini juga digunakan memprediksi prospek aplikasinya untuk adsorpsi pada sistem kolom. Dalam penelitian ini akan dipelajari model kinetika adsorpsi pseudo orde satu yang dikembangkan oleh Lagergren [9], pseudo orde dua yang dikembangkan oleh Ho dan McKay [10], dan model kinetika Langmuir-Hinshelwood [11].

## 2. PROSEDUR PERCOBAAN

Adsorben zeolit terpillar titanium oksida yang digunakan dalam penelitian ini disintesis menggunakan prosedur sebelumnya [8]. Bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini antara lain akuades, stronsium nitrat (Merck), dan asam nitrat (Merck). Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain gelas beker, labu ukur, pipet volume, piper ukur, pipet tetes, kertas timbang, kaca arloji, neraca analitik, *stopwatch*, dan perangkat spektroskopi serapan atom (SSA) 2- Solar Series Thermo Electron Corp.

### 2.1. Adsorpsi Stronsium

Adsorpsi stronsium dilakukan dengan sistem batch. Langkah pertama adalah menyiapkan larutan stronsium simulasi (100 ppm) dengan melarutkan 0,241 gram stronsium nitrat menggunakan akuades hingga 1 liter. Larutan stronsium dikondisikan keasamannya pada pH 5 menggunakan asam nitrat. Larutan stronsium sebanyak 10 mL dilakukan uji adsorpsi menggunakan 0,1 gram zeolit terpillar titanium dioksida pada suhu ruang dengan variasi waktu adsorpsi (kontak) 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, dan 100 menit.

### 2.2. Pengukuran Stronsium

Larutan stronsium yang telah dilakukan adsorpsi kemudian diukur konsentrasinya dengan cara mencuplik larutan tersebut dan diukur menggunakan spektroskopi serapan atom pada panjang gelombang 460,7 nm [12].

### 2.3. Analisis dan Olah Data

Data yang diperoleh dari pengujian di laboratorium dilakukan pengolahan. Banyaknya adsorbat yang teradsorpsi dalam adsorben ( $q$ ) dihitung menggunakan Persamaan 1 dengan  $V$  adalah volume larutan yang diadsorpsi (L),  $m$  adalah massa adsorben yang digunakan (gr),  $C_0$  dan  $C$  adalah konsentrasi awal dan akhir stronsium dalam larutan (ppm).

$$q = (C_0 - C) \frac{V}{m} \quad (1)$$

Model kinetika adsorpsi pseudo orde satu dihitung menggunakan Persamaan 2 [9], sedangkan kinetika adsorpsi pseudo orde dua dihitung menggunakan Persamaan 3 [10].

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \quad (2)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (3)$$

Nilai  $k_1$  pada Persamaan 2 dan  $k_2$  pada Persamaan 3 merupakan konstanta kecepatan adsorpsi pseudo orde satu dan pseudo orde dua. Notasi  $q_e$  dan  $q_t$  merupakan banyaknya adsorbat yang teradsorpsi saat setimbang dan saat waktu  $t$  (mg stronsium/g adsorben), dengan  $t$  adalah waktu adsorpsi (menit). Nilai konstanta  $k_1$  pada model kinetika pseudo orde satu diperoleh dari slope kurva linier  $t$  terhadap  $\log(q_e - q_t)$ . Sedangkan Nilai konstanta  $k_2$  pada model kinetika pseudo orde dua diperoleh dari intersep kurva linier  $t$  terhadap  $t/q_t$ .

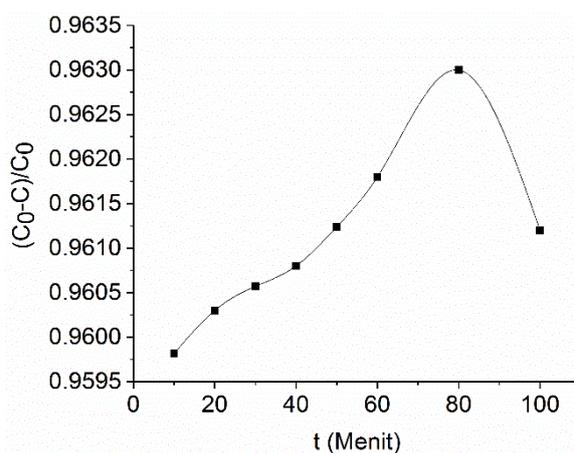
Persamaan model kinetika Langmuir-Hinshelwood menggunakan Persamaan 4.

$$\ln \frac{\left(\frac{C_0}{C_t}\right)}{(C_0 - C_t)} = -k_0 + k_1 \frac{t}{(C_0 - C_t)} \quad (4)$$

Dengan  $k_1$  adalah konstanta kecepatan adsorpsi,  $k_0$  adalah konstanta kesetimbangan,  $C_t$  adalah konsentrasi adsorbat yang tersisa setelah adsorpsi selang waktu  $t$ . Nilai konstanta kecepatan adsorpsi dapat ditentukan dari nilai slope kurva linier  $t/(C_0 - C_t)$  terhadap  $\ln(C_0/C_t)/(C_0 - C_t)$ .

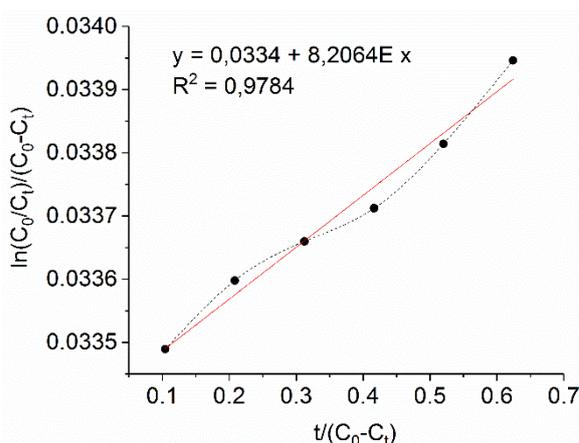
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan proses adsorpsi yang telah dilakukan dari interval waktu 10 hingga 100 menit diperoleh hasil konsentrasi stronsium yang tersisa dalam larutan yang ditampilkan dalam bentuk kurva *breakthrough*. Kurva *breakthrough* pada Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai  $(C_0 - C)/C$  terus mengalami kenaikan hingga mendekati 1, yang artinya konsentrasi adsorbat dalam efluen semakin habis teradsorpsi oleh adsorben. Gambar 1 menunjukkan bahwa waktu adsorpsi hingga 80 menit sudah mencapai waktu setimbang karena setelah adsorpsi pada 100 menit menunjukkan proses desorpsi (lepasnya adsorbat ke larutan). Sehingga data pada waktu 80 menit digunakan sebagai waktu setimbang proses adsorpsi. Setelah dilakukan olah data dan perhitungan diperolehlah kurva linier untuk ketiga model kinetika adsorpsi seperti terlihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

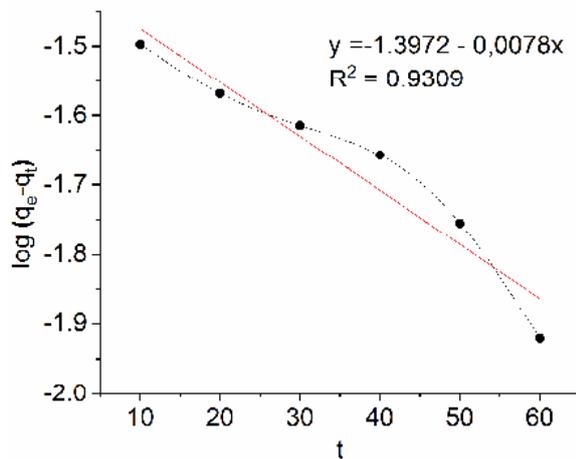


Gambar 1. Kurva *breakthrough*

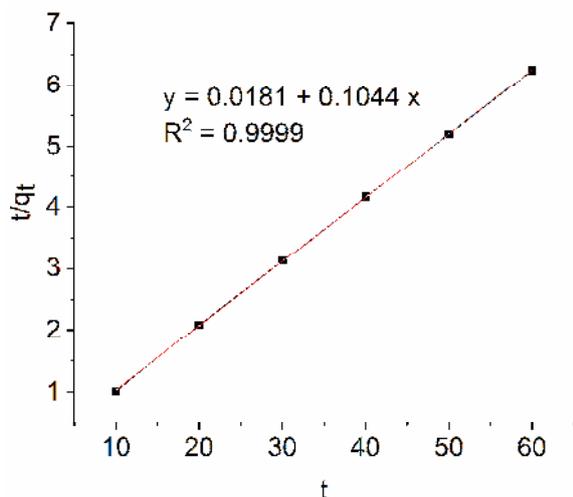
Model kinetika Langmuir-Hinshelwood pada Gambar 2 menunjukkan bahwa hubungan  $t/(C_0 - C_t)$  terhadap  $\ln(C_0/C_t)/(C_0 - C_t)$  tidak linier (garis hitam putus-putus) dengan ditandai nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) 0,9784 atau tidak mendekati 1. Berdasarkan nilai koefisien korelasi tersebut dinyatakan bahwa adsorpsi stronsium oleh zeolit terpillar titanium dioksida tidak mengikuti model kinetika Langmuir-Hinshelwood. Hal yang sama terdapat pada model kinetika pseudo orde satu. Model kinetika pseudo orde satu pada Gambar 3 menunjukkan bahwa hubungan  $t$  terhadap  $\log(q_e - q_t)$  tidak linier (garis hitam putus-putus) dengan ditandai nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) 0,9309 atau tidak mendekati 1. Nilai ini lebih rendah dari model kinetika Langmuir-Hinshelwood. Berdasarkan nilai koefisien korelasi tersebut dinyatakan bahwa adsorpsi stronsium oleh zeolit terpillar titanium dioksida tidak mengikuti model kinetika pseudo orde satu.



Gambar 2. Kurva linier model kinetika Langmuir-Hinshelwood



Gambar 3. Kurva linier model kinetika pseudo orde satu



Gambar 4. Kurva linier model kinetika pseudo orde dua

Model kinetika pseudo orde dua pada Gambar 4 menunjukkan bahwa hubungan  $t$  terhadap  $t/q_t$  linier (garis hitam putus-putus) dengan ditandai nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) 0,9999 atau mendekati 1. Berdasarkan nilai koefisien korelasi tersebut dinyatakan bahwa adsorpsi stronsium oleh zeolit terpillar titanium dioksida mengikuti model kinetika pseudo orde dua. Nilai konstanta kecepatan adsorpsi ( $k_2$ ) yang diperoleh dari nilai intersep pada Gambar 4 yaitu 0,6022 (g/mg.menit) dan banyaknya adsorbat yang teradsorpsi ( $q_e$ ) secara teoritis sebesar 9,5785 mg adsorbat/g adsorben.

Adsorpsi stronsium oleh zeolit terpillar titanium dioksida mengikuti model kinetika pseudo orde dua. Hal ini menggambarkan bahwa kapasitas adsorpsi sebanding dengan jumlah situs aktif yang terisi pada permukaan adsorben. Selain itu, hal ini juga menggambarkan bahwa *rate-limiting step* berupa kemisorpsi [10] yang diperkirakan bahwa adsorpsi melibatkan gaya valensi dengan cara pertukaran elektron antara stronsium terhadap titanium dioksida yang ada pada adsorben.

Model kinetika adsorpsi stronsium yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan

model kinetika adsorpsi yang sama dengan yang diperoleh oleh peneliti sebelumnya. Penelitian adsorpsi stronsium menggunakan zeolit yang disintesis dari batu vulkanik Jeju mengikuti model kinetika pseudo orde dua [13]. Hal yang sama pada adsorpsi stronsium menggunakan grafena oksida yang mengikuti model kinetika pseudo orde dua [14].

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi kinetika yang telah dilakukan menggunakan tiga model kinetika, diperoleh kesimpulan bahwa adsorpsi stronsium oleh zeolit terpillar titanium dioksida mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan nilai  $k_2$  sebesar 0,6022 (g/mg.menit) dan  $q_e$  secara teoritis sebesar 9,5785 mg adsorbat/g adsorben.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. R. Akhmad, Suryawati, dan V. Tuka, "Kajian Proteksi Radiasi TENORM dari Industri dan Pertambangan", BAPETEN, pp. 331-346.
- [2] O. Pathak, "An Assessment of Strontium Sorption onto Bentonite Buffer Material in Waste Repository," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, no. 9, pp. 8825–8836, 2017.
- [3] R. D. Herhady, G. Kusnanto, R. Sukarsono, dan B. Masduki, "Sintesis Gelas Keramik Lithium Alumina Silikat untuk Imobilisasi Simulasi Limbah Stronsium-90 (Synthesis of Lithium Alumina Silicate Ceramic Glass for Simulated Immobilization of Strontium-90 Waste)", *Indonesian Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 4, pp. 107–119, 2003.
- [4] S. Hasan, A. R. M. Iasir, T. K. Ghosh, B. S. Gupta, dan M. A. Prelas, "Characterization And Adsorption Behavior of Strontium from Aqueous Solutions onto Chitosan-Fuller's Earth Beads," *Healthcare*, vol. 7, no. 1, pp. 1–18, 2019.
- [5] W. Astuti dan B. Kurniawan, "Adsorpsi Pb<sup>2+</sup> Dalam Limbah Cair Artifisial Menggunakan Sistem Adsorpsi Kolom Dengan Bahan Isian Abu Layang Batubara Serbuk dan Granular," *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, vol. 4, no. 1, pp. 27-33, 2015.
- [6] S. Yusan, dan S. Erenturk, "Adsorption Characterization of Strontium on PAN/Zeolite Composite Adsorbent," *World Journal of Nuclear Science and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 6–12, 2011.
- [7] D. Song, S. J. Park, H. W. Kang, S. B. Park, dan J. I. Han, "Recovery of Lithium (I), Strontium (II) and Lanthanum (III) using Ca-

- alginate Beads,” *Journal of Chemical & Engineering Data*, vol. 58, no. 9, pp. 2455–2464, 2013.
- [8] K. T. Basuki, M. Fatuzzahroh, D. Ariyanti, dan A. Saputra, “Adsorption of Strontium from an Aqueous Solution by TiO<sub>2</sub>-Pillared Zeolite”, *International Journal of Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 625-634, 2021.
- [9] S. Y. Lagergren, “Zur Theorie der sogenannten Adsorption gel oster Stoffe”, *Kunliga Svenska Vetenskapsakad. Handlingar*, vol. 24, pp. 1-39, 1898.
- [10] Y. S. Ho, dan G. Mckay, “Pseudo-second order model for sorption processes”, *Process Biochemistry*, vol. 34, no. 5, pp. 451-465, 1999.
- [11] D. Umaningrum, U. T. Santoso, R. Nurmasari, dan R. Yunus, “Kinetika Adsorpsi Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) pada Adsorben Produk Pengikatan-Silang Terproteksi Asam Humat/Kitosan”, *Indo. J. Chem.*, vol. 10, no. 1, pp. 80-87, 2010.
- [12] L. Qiu, J. Feng, Y. Dai, dan S. Chang, “Mechanisms of Strontium's Adsorption by *Saccharomyces Cerevisiae*: Contribution of Surface and Intracellular Uptakes,” *Chemosphere*, vol. 215, pp. 15–24, 2018.
- [13] M. G. Lee, S. K. Kam, dan C. H. Lee, “Kinetic and isothermal adsorption properties of strontium and cesium ions by zeolitic materials synthesized from Jeju volcanic rocks,” *Environmental Engineering Research*, vol. 26, no. 2, pp. 1-8, 2021.
- [14] A. Abu-Nada, A. Abdala, dan G. McKay, “Isotherm and Kinetic Modeling of Strontium Adsorption on Graphene Oxide,” *Nanomaterials*, vol. 11, pp. 1-11, 2021.