

# Pemanfaatan Zeolit-A Sebagai Adsorben Logam Berat Kromium Total (Cr) Pada Limbah Cair Sisa Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Arsita Nur Rizkia Putri<sup>1</sup>, Ilma Fadlilah<sup>2\*</sup>, Oto Prasadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap, Indonesia

<sup>2</sup> Politeknik Negeri Cilacap, Indonesia

## Artikel Info:

Received February 18, 2024

Accepted May 17, 2024

Available online May 20, 2024

## Keyword:

Adsorption; Cr; Wastewater; Nipah; Zeolit-A

## Kata kunci:

Adsorpsi; Cr; Limbah cair; Nipah; Zeolit-A



Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

## Abstract

Wastewater left over from Chemical Oxygen Demand (COD) analysis contains total chromium (Cr), which is toxic and carcinogenic. The adsorption method using zeolite-A can reduce Cr pollutants. The research aims to determine the optimal contact time for adsorption to reduce Cr by zeolite-A made from palm leaf waste and aluminum cans. The research used zeolite-A synthesized from palm leaf waste and aluminum cans. Zeolite synthesis was carried out with a Si/Al molar ratio 1.9 (6.6 g NaOH, 3.36 g SiO<sub>2</sub>, 2.98 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and 103.43 mL H<sub>2</sub>O). Adsorption effectiveness was assessed based on five variations of contact time (30, 60, 90, 120, and 150 minutes). Adsorption kinetics are described using zero order, pseudo-first-order and pseudo-second-order models. The research results show that zeolite-A can act as a good cation exchanger and act as a Cr adsorbent. Based on the adsorption process, the optimal contact time for Cr adsorption was found to be 150 minutes, with an adsorption efficiency of 17.742%. Meanwhile, the Cr adsorption kinetics follows a zero-order model, with the adsorption speed value being -0.0007 min<sup>-1</sup>. Zeolite-A synthesized from palm leaf waste and aluminum cans can be used as a Cr metal adsorbent. The optimal adsorption time was 150 minutes of contact time, with an adsorption efficiency of 17.74%. Increasing the adsorbent dose, varying pH, and varying contact times of more than 150 minutes suggest further research.

Limbah cair sisa analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD) mengandung krom total (Cr), sehingga bersifat racun dan karsinogen. Metode adsorpsi menggunakan zeolit-A dapat digunakan untuk menurunkan polutan Cr. Penelitian bertujuan mengetahui waktu kontak optimal adsorpsi terhadap penurunan Cr oleh zeolit-A berbahan dasar limbah daun nipah dan alumunium kaleng. Penelitian menggunakan zeolit-A yang disintesis dari limbah daun nipah dan alumunium kaleng. Sintesis zeolit dilakukan dengan rasio molar Si/Al 1,9 (6,6 g NaOH, 3,36 g SiO<sub>2</sub>, 2,98 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan 103,43 mL H<sub>2</sub>O). Efektifitas adsorpsi dinilai berdasarkan lima variasi waktu kontak (30, 60, 90, 120, dan 150 menit). Kinetika adsorpsi digambarkan dengan pemodelan orde nol, orde satu semu (*pseudo first orde*) serta orde dua semu (*pseudo second orde*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolit-A memiliki kemampuan sebagai penukar kation yang baik, sehingga dapat berperan sebagai adsorben Cr. Berdasarkan proses adsorpsi didapatkan waktu kontak optimal adsorpsi Cr pada waktu 150 menit, dengan efisiensi adsorpsi sebesar 17,742%. Sedangkan kinetika adsorpsi Cr mengikuti model orde nol, dengan nilai kecepatan adsorpsinya adalah -0,0007 min<sup>-1</sup>. Zeolit-A yang disintesis dari limbah daun nipah dan alumunium kaleng dapat digunakan sebagai adsorben logam Cr. Waktu optimal adsorpsi pada waktu kontak 150 menit dengan efisiensi adsorpsi sebesar 17,74%. Peningkatan dosis adsorben, variasi pH, dan variasi waktu kontak lebih dari 150 menit, menjadi saran penelitian selanjutnya.

\* Corresponding author: Ilma Fadlilah  
Program Studi Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan Politeknik Negeri Cilacap, Indonesia  
Email: [ilma.fadlilah@pnc.ac.id](mailto:ilma.fadlilah@pnc.ac.id)

## PENDAHULUAN

Kromium (Cr) merupakan logam penting dalam pembuatan pigmen, pengecatan, pelapisan logam, pengolahan kayu, penyamakan kulit, digunakan dalam metalurgi dan produksi bahan tahan api, serta berbagai aplikasi lainnya (Vaiopoulou & Gikas, 2020). Dua bentuk oksidasi Cr yang paling umum adalah trivalen dan heksavalen. Cr trivalen sebagian besar tidak beracun, sedangkan Cr heksavalen bersifat toksik dan karsinogenik pada organisme hidup (Shin et al., 2023).

Limbah industri yang mengandung Cr dikenal sebagai sumber utama pencemaran tanah dan air sehingga dapat menimbulkan dampak buruk terhadap kesehatan masyarakat (Shin et al., 2023). Salah satu limbah yang mengandung Cr adalah limbah laboratorium. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, limbah cair laboratorium termasuk ke dalam limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Menurut Djo et al. (2017), di dalam limbah cair laboratorium terkandung logam berat dengan konsentrasi yang cukup tinggi, termasuk logam Cr dari hasil analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD). Berdasarkan hasil uji karakteristik awal, limbah cair sisa analisis COD memiliki kandungan logam krom total (Cr) sebesar 0,62 mg/L, melebihi baku mutu limbah cair (Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Limbah Cair).

Penyisihan polutan dari limbah cair sisa analisis COD dapat dilakukan dengan kombinasi proses fisika kimia, yaitu metode adsorpsi (Priadi et al., 2014). Adsorpsi merupakan proses peralihan massa yang terjadi melalui permukaan pori dari adsorbat menuju adsorben (Paryanto et al., 2018). Zeolit merupakan salah satu adsorben komersial yang sering digunakan. Zeolit memiliki kerangka tiga dimensi berbentuk tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  yang di dalamnya saling terhubung antara ion-ion logam dengan atom-atom oksigen membentuk mineral kristal alumina silika (Cahyo & Prasetyoko, 2016). Kelebihan yang dimiliki zeolit sintesis dibandingkan zeolit alam antara lain tidak adanya unsur lain yang terikat, penyerapan molekul dapat terjadi dengan baik, serta kemurniannya lebih tinggi (Hartati et al., 2019).

Penggunaan adsorben yang murah terus dikembangkan oleh para peneliti. Pemanfaatan

limbah pertanian dan limbah anorganik menjadi salah satu alternatif substitusi silika dan aluminium komersial yang cukup mahal. Pada penelitian ini, limbah yang digunakan adalah limbah daun nipah dan aluminium kaleng berionik tinggi. Daun nipah dan aluminium kaleng berpotensi sebagai bahan baku pembuatan zeolit sintesis-A, karena memiliki kandungan Silika (Si) dan Aluminium (Al). Menurut Rizkia Putri et al. (2023), limbah daun nipah memiliki kandungan silika sebesar 26,28%, sedangkan limbah aluminium kaleng memiliki kandungan aluminium sebesar 53,09 %.

Selain harga yang murah, ketersediaan bahan baku juga berlimpah. Menurut Hilmi et al. (2015), keberadaan nipah melimpah di Kabupaten Cilacap dan belum dimanfaatkan secara optimal. Pemanfaatan limbah aluminium kaleng juga dapat mengurangi beban pencemaran lingkungan. Menurut Nugroho & Redjeki (2015), aluminium kaleng dapat mencemari lingkungan karena proses degradasinya membutuhkan waktu yang cukup lama, yaitu sekitar 80 hingga 200 tahun .

Hasil penelitian Syaifie et al. (2019) yang memanfaatkan zeolit-A berbahan dasar dari kaolin dan abu sekam padi sebagai adsorben limbah cair industri pelapisan logam mendapatkan hasil kontak optimal pada waktu ke-150 menit. Dari hasil penelitian tersebut juga diketahui bahwa zeolit-A merupakan tipe zeolit dengan nilai rasio Si/Al rendah yaitu satu (atau mendekati satu).

Rumus kimia dari zeolit-A adalah  $\text{Na}_{96}[(\text{AlO}_2)_{96}(\text{SiO}_2)_{96}].216\text{H}_2\text{O}$  (Kurniawan & Widiastuti, 2017). Mineral aluminosilikat yang dimiliki oleh zeolit-A berperan sebagai adsorben limbah cair (Widiastuti et al., 2022). Menurut Widiastuti & Shara (2019), perbedaan zeolit-A dibandingkan dengan zeolit lainnya adalah memiliki proses sintesis yang mudah, kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi, dan kapasitas adsorpsi yang baik. Penelitian bertujuan untuk mengetahui waktu kontak optimal dalam proses adsorpsi logam berat Cr dalam limbah cair sisa analisis COD menggunakan zeolit-A berbahan dasar limbah pertanian dan limbah anorganik.

## METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Rekayasa Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan Politeknik Negeri Cilacap, pada bulan Februari 2023 sampai dengan Juni 2023, menggunakan

sistem *batch*. Variabel bebas penelitian adalah variasi waktu kontak adsorpsi (30, 60, 90, 120, dan 150 menit). Sedangkan variabel terikat adalah kadar krom total (Cr) dan waktu kontak optimal proses adsorpsi. Bahan utama pada penelitian ini adalah zeolit-A hasil sintesis dari limbah daun nipah dan limbah aluminium kaleng, diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya (Putri et al., 2023). Bahan lainnya antara lain limbah cair sisa analisis COD, NaOH, HCl, aquadest, dan kertas saring.

Tahapan sintesis zeolit-A diawali dengan preparasi dan ekstraksi silika daun nipah, preparasi aluminium kaleng bekas, selanjutnya proses sintesis zeolit dengan rasio molar Si/Al 1,9. Rasio molar Si/Al 1,9 tersebut terdiri dari komposisi massa NaOH sebanyak 6,6 g, massa SiO<sub>2</sub> sebanyak 3,36 g, massa Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebanyak 2,98, dan 103,43 mL H<sub>2</sub>O. Komposisi bahan dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 350 rpm (3 jam), di atas *hot plate* pada suhu ruang. Selanjutnya dilakukan proses kristalisasi pada temperature 150 °C, di dalam reaktor hidrotermal selama 8 jam. Kristal yang diperoleh selanjutnya disaring dan dicuci menggunakan *aqua demineralisasi* hingga pH 7 – 9, dikeringkan di dalam oven, dan dihaluskan hingga menghasilkan serbuk zeolit-A (Putri et al., 2023).

Karakterisasi material adsorben dari zeolit-A meliputi komposisi unsur dan morfologi permukaan, kemudian analisis gugus fungsi yang diperoleh dari penelitian sebelumnya (Putri et al., 2023). Sebelum proses adsorpsi, dilakukan penetralan pH limbah cair menggunakan larutan NaOH 85%. Selanjutnya ditambahkan 0,2 gram zeolit-A ke dalam 80 mL limbah cair sisa analisis COD. Proses adsorpsi dilakukan berdasarkan variasi waktu penelitian, dengan kecepatan pengadukan 280 rpm, pada suhu 45 °C. Setelah proses adsorpsi, dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring dan diuji kadar logam berat krom total menggunakan Spektrofotometer UV-VIS.

Keseluruhan data selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan efisiensi adsorpsi dan kinetika adsorpsi. Efisiensi adsorpsi dihitung berdasarkan persentase konsentrasi krom antara sebelum dan

sesudah proses adsorpsi. Sedangkan laju adsorpsi terhadap waktu digambarkan dengan kinetika adsorpsi, meliputi permodelan orde satu semu (*pseudo first orde*) serta orde dua semu (*pseudo second orde*) (Munira et al., 2022). Perhitungan efisiensi adsorpsi dan kinetika adsorpsi mengikuti Fadlilah et al. (2023):

$$\text{Efisiensi Adsorpsi, \%} = \frac{(C_1 - C_2)}{C_1} \times 100\% \quad (1)$$

dimana, E= Efisiensi adsorpsi (%); C<sub>1</sub>= Konsentrasi awal larutan (mg/L), dan C<sub>2</sub>= Konsentrasi akhir larutan (mg/L).

Persamaan orde satu semu menurut Lagergren (Rusdiarso et al., 2018):

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t \quad (2)$$

Persamaan orde dua semu ditampilkan pada persamaan berikut.

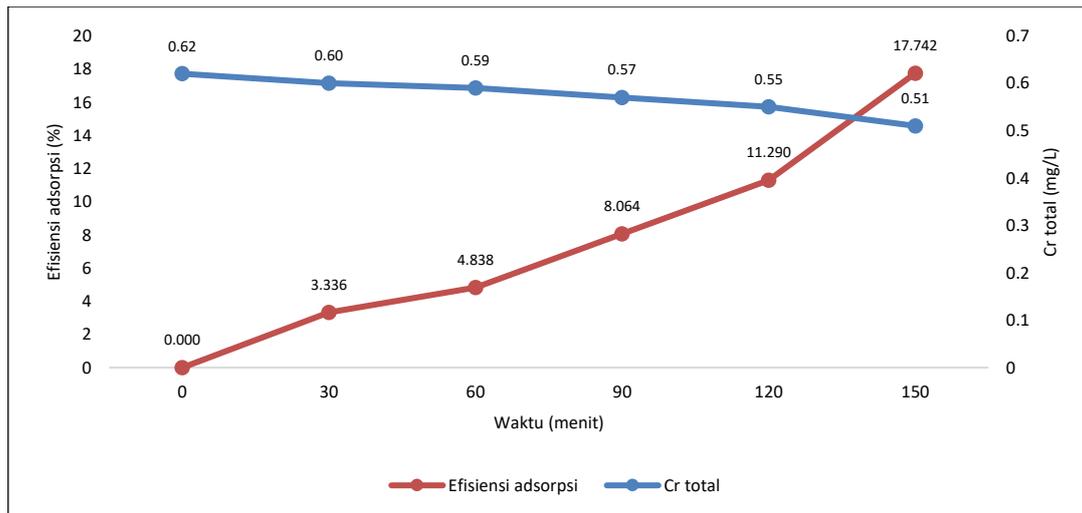
$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (3)$$

dimana, q<sub>e</sub> & q<sub>t</sub>= jumlah zat yang teradsorps saat kesetimbangan dalam waktu, dinyatakan t ke mg/g; k<sub>1</sub>= konstanta kecepatan orde satu semu, menit<sup>-1</sup>; dan k<sub>2</sub>= kostanta kecepatan orde dua semu, g/mg.menit.

## HASIL

Krom total (Cr) merupakan logam berat yang memiliki sifat mudah larut, karsinogenik, dan dalam jumlah besar dapat mengakibatkan kematian pada makhluk hidup (Safaruddin et al., 2022). Variasi waktu yang dilakukan pada proses adsorpsi Cr oleh zeolit-A terdiri dari 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit.

Gambar 1 menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cr semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu kontak adsorpsi, terendah pada waktu kontak 150 menit (0,51 mg/L). Pada Gambar 1 juga terlihat bahwa efisiensi adsorpsi logam Cr semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu kontak. Adsorpsi tertinggi sebesar 17,742% pada waktu kontak 150 menit.



**Gambar 1.** Penurunan dan efisiensi adsorpsi Cr total berdasarkan waktu kontak

Kinetika adsorpsi pada logam Cr menggunakan zeolit-A dapat ditinjau dengan model orde nol, orde satu (*pseudo first orde*) dan orde dua (*pseudo second orde*). Permodelan kinetika adsorpsi digunakan sebagai gambaran adsorben terhadap

adsorbat dalam kecepatannya menyerap persatuan waktu. Model kinetika adsorpsi model orde nol, *pseudo first orde* dan model *pseudo second orde* disajikan sebagai berikut.

**Tabel 1.** Permodelan Kinetika Adsorpsi

Logam	Orde Nol		Orde Satu		Orde Dua	
	$K_0$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$R^2$	$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$R^2$	$K_2$ ( $\text{g/mg.min}$ )	$R^2$
Logam Cr total	-0,0007	0,9576	0,0397	0,6152	0,0047	0,2908

Untuk memperoleh nilai *slope* dan intersep yang disimbolkan dengan  $k_0$  diperoleh dari hasil plot antara  $[A] - [A]_0$  vs  $t$ , adapun  $k_1$  diperoleh dari hasil plot antara  $\ln(q_e - qt)$  vs  $t$  (Ali et al., 2016), sedangkan untuk memperoleh nilai *slope* dan intersep yang disimbolkan dengan  $k_2$  diperoleh dari hasil plot antara linier  $t$  vs  $t/qt$  (Kostoglou & Karapansios, 2022). Hubungan linear dari hasil analisis kinetika adsorpsi logam Cr ditampilkan pada Gambar 2.

## PEMBAHASAN

### Waktu kontak terhadap adsorpsi Cr

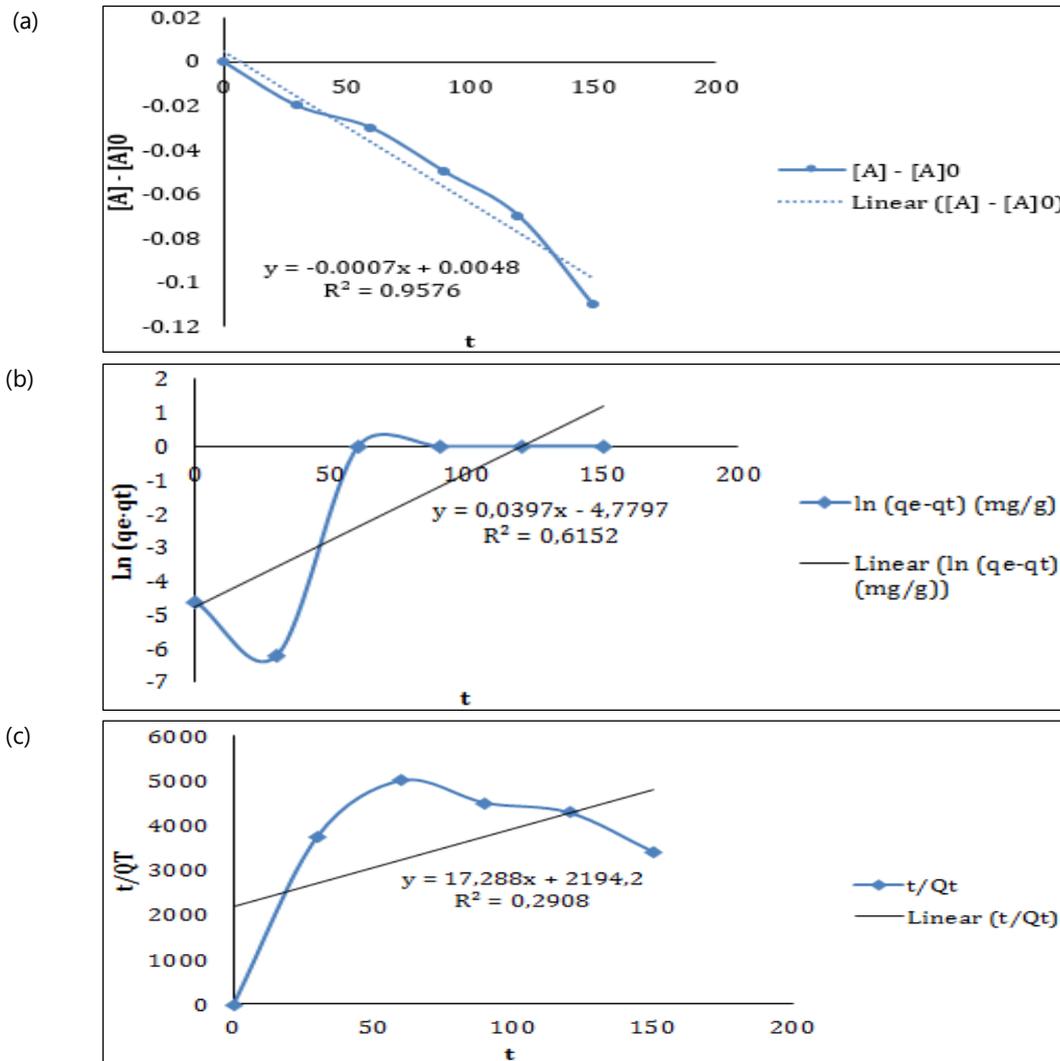
Limbah cair sisa analisis COD termasuk ke dalam golongan limbah yang belum memiliki baku mutu khusus menurut Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012. Pada peraturan tersebut terdapat dua golongan baku mutu air limbah yang dapat ditentukan berdasarkan hasil uji COD dan BOD pada karakteristik awal limbah cair sisa analisis COD. Berdasarkan hasil uji laboratorium, pada parameter COD dan BOD yang

terkandung di dalam limbah cair sisa analisis COD secara berurutan adalah 128 mg/L dan 107,11 mg/L. Konsentrasi COD dan BOD tersebut menunjukkan bahwa limbah cair sisa analisis COD ini termasuk ke dalam golongan I, karena memiliki nilai BOD < 1500 ppm dan COD < 3000 ppm. Sedangkan limbah cair termasuk ke dalam golongan II apabila nilai BOD > 1500 ppm dan/atau COD > 3000 ppm.

Krom total (Cr) merupakan logam berat yang memiliki sifat mudah larut, karsinogenik, dan dalam jumlah besar dapat mengakibatkan kematian pada makhluk hidup (Safaruddin et al., 2022). Pada penelitian ini, zeolit-A digunakan sebagai adsorben Cr pada limbah cair sisa analisis COD. Berdasarkan hasil uji awal karakteristik limbah cair sisa analisis COD, diketahui bahwa kandungan logam Cr sebesar 0,62 mg/L. Analisis COD menggunakan bahan kimia berupa kalium dikromat ( $\text{K}_2\text{CrO}_7$ ) yang dapat menimbulkan tingginya kadar polutan, terkhusus kadar logam Cr. Hasil adsorpsi ditampilkan pada grafik hubungan

waktu kontak terhadap Cr dan grafik hubungan antara waktu kontak terhadap efisiensi adsorpsi. Penurunan konsentrasi logam Cr dapat dilihat pada Gambar 1a, menunjukkan perubahan dari 0,62 mg/L turun hingga 0,51 mg/L. Konsentrasi logam yang teradsorpsi cukup banyak pada 30 menit pertama, karena adsorben memiliki sisi aktif

yang masih besar sehingga *transfer* massa dari logam dengan adsorben berjalan cepat pada proses awal adsorpsi (Emelda et al., 2013). Selain itu, karena *driving force* pada awal proses adsorpsi cukup tinggi. *Driving force* merupakan perbedaan konsentrasi krom di larutan *bulk* dan larutan uji (Emelda et al., 2013).



**Gambar 2.** Adsorpsi ion logam Cr pada kinetika orde nol (a); orde satu (b); orde dua (c).

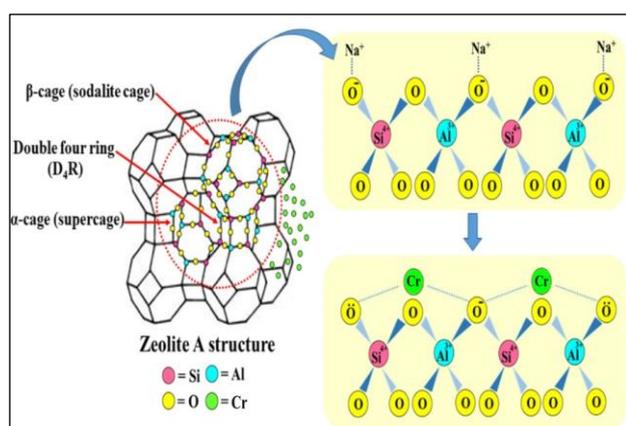
Pada waktu kontak 150 menit, logam Cr yang terjerap semakin besar. Menurut Agustina et al. (2018), degradasi polutan akan meningkat dengan bertambahnya waktu kontak, karena akan banyak kesempatan adsorben untuk menyerap polutan dalam adsorbat. Demikian pula menurut Fadlilah et al. (2023), bahwa efisiensi adsorpsi dipengaruhi oleh waktu kontak. Efisiensi yang ditunjukkan pada proses adsorpsi logam Cr dengan zeolit-A menunjukkan peningkatan efisiensi adsorpsi yang berbanding lurus dengan penambahan waktu

kontak, karena ketersediaan situs kosong yang cukup besar pada permukaan adsorben (Singh et al., 2020).

Hasil penelitian ini mendapatkan bahwa waktu kontak optimal pada proses adsorpsi zeolit-A berbahan dari limbah aluminium kaleng bekas dan daun nipah terhadap logam Cr adalah 150 menit, dengan efisiensi adsorpsi sebesar 17,74 %. Efisiensi adsorpsi penelitian ini lebih kecil dibandingkan dengan Syaifie et al. (2019) yang menggunakan zeolit-A berbahan dari kaolin dan abu sekam padi

terhadap logam Cr dari limbah cair industri pelapisan logam, sebesar 88% hingga 99% dalam waktu adsorpsi 30 menit. Faktor yang menjadi pembeda dengan hasil penelitian sebelumnya disebabkan adanya situs aktif, luas permukaan yang berbeda, distribusi *zeta potential* (Mariana et al., 2023).

Berdasarkan hasil karakterisasi adsorben zeolit-A yang telah dilakukan oleh Putri et al. (2023), bahwa gugus siloksan (Si-O-Si) dan silanol (Si-OH) yang terkandung di dalam zeolit-A merupakan peran dari adanya penurunan konsentrasi logam Cr di dalam limbah cair sisa analisis COD. Bilangan gelombang yang menunjukkan gugus siloksan (Si-O-Si) dan silanol (Si-OH) secara berturut-turut adalah  $447,49\text{ cm}^{-1}$  dan  $1640,35\text{ cm}^{-1}$ . Peran kedua gugus fungsi tersebut sebagai ligan yang menyediakan elektron bebas sebagai pengikat kation, dalam hal ini logam berat (Lavinia et al., 2016). Selain itu, disebabkan adanya muatan negatif yang dimiliki zeolit. Muatan negatif tersebut berasal dari penggantian  $\text{Si}^{4+}$  dalam struktur tetrahedral dengan  $\text{Al}^{3+}$ , sehingga menyebabkan zeolit memiliki muatan negatif yang dapat dipertukarkan dengan kation logam berat dan bersubstitusi dengan kation  $\text{Na}^+$  yang ditampilkan pada reaksi berikut.



**Gambar 3.** Proses Adsorpsi Logam Berat Cr oleh Zeolit A (Jangkorn et al., 2022)

Adsorpsi logam Cr oleh zeolit A menunjukkan adanya pergantian ion yang terjadi antara ion logam Cr dengan muatan kation  $\text{Na}^+$  yang berperan sebagai muatan negatif, sehingga ion logam terjerap ke dalam struktur zeolit. Afinitas tinggi pada permukaan silika dan alumina

terhadap penyerapan ion logam Cr merupakan salah satu penyebab terjadinya peristiwa tersebut. Lemahnya ikatan  $\text{Na}^+$  maka dapat tergantikan dengan ion logam Cr yang terjerap, peristiwa tersebut mengakibatkan penurunan kadar Cr pada limbah (Pratomo et al., 2017).

#### *Kinetika Adsorpsi Logam Cr*

Berdasarkan konstanta kecepatan yang ditunjukkan pada  $k_0$ ,  $k_1$  dan  $k_2$  (Tabel 1), menyatakan model kinetika dengan nilai konstanta kecepatan orde nol lebih besar dibandingkan dengan model kinetika orde lainnya. Nilai konstanta kecepatan adsorpsi logam Cr dengan zeolit-A adalah sebesar  $-0,0007\text{ min}^{-1}$ . Adapun mekanisme kinetika adsorpsi ditentukan berdasarkan nilai  $R^2$  yang mendekati satu.

Berdasarkan hasil permodelan dapat diketahui bahwa sebaran data orde nol memiliki nilai  $R^2$  yang lebih besar dibandingkan orde satu dan dua semu, sehingga orde nol dapat menggambarkan kinetika adsorpsi logam Cr menggunakan zeolit-A.

Nilai kecepatan adsorpsi pada penelitian ini menunjukkan proses penyerapan yang baik, karena semakin tinggi nilai laju adsorpsi akan berbanding lurus dengan penyerapan yang semakin baik pula (Munira et al., 2022). Penelitian sebelumnya oleh Ibnu Hajar et al. (2018) dengan hasil permodelan kinetika adsorpsi berada pada orde nol, dengan nilai konstanta kecepatan adsorpsi logam  $\text{Cd}^{2+}$  sebesar  $-0,0023\text{ m}^{-1}$ . Model kinetika orde nol menunjukkan laju reaksi tidak dipengaruhi oleh konsentrasi reaktan. Berapa pun peningkatan konsentrasi reaktan, maka besarnya laju reaksi tidak akan berubah (Ibnu Hajar et al., 2018).

#### **SIMPULAN**

Hasil penelitian mendapatkan bahwa adsorpsi logam Cr pada limbah cair sisa analisis COD menggunakan zeolit-A memiliki waktu optimal pada waktu kontak 150 menit, dengan efisiensi adsorpsi sebesar 17,74 %. Kinetika adsorpsi logam Cr mengikuti model orde nol dengan nilai konstanta kecepatan adsorpsinya sebesar  $-0,0007\text{ min}^{-1}$ . Saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu adanya peningkatan dosis adsorben, variasi pH, dan variasi waktu kontak lebih dari 150 menit.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Agustina, T. E., Faizal, M., Aprianti, T., Teguh, D., Rif'at, A. M., Putra, I. G., Prayesi, M. R., & Fitrializa, U. (2018). Pengolahan Limbah Logam Berat Kromium Hexavalen Menggunakan Reagen Fenton dan Adsorben Keramik Zeolit. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 13(1), 60–69. <https://doi.org/10.23955/rkl.v13i1.10109>
- Ali, A., Saeed, K., & Mabood, F. (2016). Removal of chromium (VI) from aqueous medium using chemically modified banana peels as efficient low-cost adsorbent. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2933–2942. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.05.011>
- Cahyo, Y. I., & Prasetyoko, D. (2016). Pengaruh Rasio Mol SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Pada Sintesis Zeolit Y Secara Langsung Dari Kaolin Bangka Belitung. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 3(1), 1–7. <https://repository.its.ac.id/75119/>
- Djo, Y. H. W., Suastuti, D. A., Suprihatin, I. E., & Wahyu, S. D. (2017). Fitoremediasi Limbah Cair UPT Laboratorium Analitik Universitas Udayana Menggunakan Tanaman Eceng Gondok ( *Eichhornia crassipes* ) Ditinjau dari Penurunan Nilai COD dan Kandungan Logam Berat Cu dan Cr. *Jurnal Media Sains*, 1(September), 63–70.
- Emelda, L., Putri, S. M., & Ginting, S. (2013). Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi untuk Adsorpsi Logam Krom (Cr<sup>3+</sup>). *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 9(4), 166–172. <https://doi.org/10.23955/rkl.v9i4.1229>
- Fadlilah, I., Pramita, A., Triwuri, N. A., & Anggorowati, H. (2023). Pemanfaatan Karbon Aktif Kulit Pisang Kepok dan Karbon Aktif Tempurung Nipah sebagai Biosorben untuk Pengolahan Limbah Cair Laundry. *Eksergi*, 20(2), 118. <https://doi.org/10.31315/e.v20i2.9681>
- Hartati, Widiawati, A. A., & Lutfiah, K. (2019). Sintesis Zeolit ZSM-5 dari Metakaolin Terdealuminasi Tanpa Cetakan Organik dengan Metode Desilikasi. *Jurnal Akta Kimia Indonesia*, 4(1), 63–74. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v4i1.5046>
- Hilmi, E., Siregar, A. S., & Febryanni, L. (2015). Struktur Komunitas, Zonasi dan Keanekaragaman Hayati Vegetasi Mangrove di Segara Anakan Cilacap. *Omni-Akuatika*, 11(2), 20–32. <https://doi.org/10.20884/1.oa.2015.11.2.36>
- Ibnu Hajar, E. W., Sitorus, R. S., Mulianingtias, N., & Welan, F. J. (2018). Efektivitas Adsorpsi Logam Pb<sup>2+</sup> dan Cd<sup>2+</sup> Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. *Konversi*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.20527/k.v5i1.4771>
- Jangkorn, S., Youngme, S., & Praipipat, P. (2022). Comparative lead adsorptions in synthetic wastewater by synthesized zeolite A of recycled industrial wastes from sugar factory and power plant. *Heliyon*, 8(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09323>
- Kostoglou, M., & Karapansios, T. D. (2022). Why Is the Linearized Form of Pseudo-Second Order Adsorption Kinetic Model So Successful in Fitting Batch Adsorption Experimental Data? Colloids and Interfaces. *Colloids and Interfaces*, 6(4), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/colloids6040055>
- Kurniawan, R. Y., & Widiastuti, N. (2017). Sintesis Zeolit-A dari Abu Dasar Batubara dengan Pemisahan Fe dan Ca. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 6(1), 17–20. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v6i1.22842>
- Lavinia, D. L., Sulistyani, S., & Rahardjo, M. (2016). Perbedaan Efektivitas Zeolit dan Manganese Greensand untuk Menurunkan Kadar Fosfat dan Chemical Oxygen Demand Limbah Cair "Laundry Zone" di Tembalang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro*, 4(4), 873–881. <https://doi.org/10.14710/jkm.v4i4.14381>
- Mariana, M., Mistar, E. M., Aswita, D., Zulkipli, A. S., & Alfatah, T. (2023). Nipa palm shell as a sustainable precursor for synthesizing high-performance activated carbon: Characterization and application for Hg<sup>2+</sup> adsorption. *Bioresource Technology Reports*, 21(101329). <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101329>
- Munira, M., Aladin, A., Perwitasari, P., Hamza, N. A., & Tulzhaliza, S. U. (2022). Utilization of Papaya Seed Powder as a Bioadsorben to Reduce Total Iron (Fe) in Wastewater. *Eksergi*, 19(3), 123. <https://doi.org/10.31315/e.v19i3.8007>
- Nugroho, A., & Redjeki, A. S. (2015). Pengaruh Waktu Pemanasan Pada Pembuatan Senyawa Alum Dari Limbah Foil Blister Untuk Keperluan Industri Farmasi. *JURNAL KONVERSI*, 4(2), 1. <https://doi.org/10.24853/konversi.4.2.1-8>
- Paryanto, P., Arsyad, M. F., & Aji, M. F. I. (2018). Penentuan Nilai Keseimbangan Adsorpsi Zat Warna Alami Kulit Mahoni ke Dalam Kain Dengan Proses Batch. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 3(2), 1–7. <https://doi.org/10.31942/inteka.v3i2.2482>
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Limbah Cair,

- Pemerintah Daerah Provinsi Jawa Tengah (2012). Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, (2014).
- Pratomo, S. W., Mahatmanti, F. W., & Sulistyarningsih, T. (2017). Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebagai Adsorben Ion Logam Cd(II) dalam Larutan. *Jurnal of Chemical Science*, 6(2), 161–167. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Priadi, C. R., Anita, A., Sari, P. N., & Moersidik, S. S. (2014). Adsorpsi Logam Seng (Zn) dan Timbal (Pb) Pada Limbah Cair Industri Keramik Oleh Tanah Liat. *Reaktor*, 15(1), 10. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.1.10-19>
- Putri, A. N. R., Fadlilah, I., & Prasadi, O. (2023). Effect of Si/Al Molar Ratio on Zeolite Synthesis from Nipah Leaf and Used Canned Alumunium. *Konversi*, 12(2), 42–47. <https://doi.org/10.20527/k.v12i2.16985>
- Rusdiarso, B., Basuki, R., & Santosa, S. J. (2018). Evaluation of Lagergren Kinetics Equation by Using Novel Kinetics Expression of Sorption of Zn<sup>2+</sup> onto Horse Dung Humic Acid (HD-HA). *Indonesian Journal of Chemistry*, 16(3), 338. <https://doi.org/10.22146/ijc.21151>
- Safaruddin, M. D., Wijayanti, F., & Oktasari, A. (2022). Analisis Kadar Logam Kromium (Cr) pada Limbah Penyablonan di Konveksi Sakinah Palembang. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 5, 376–380.
- Shin, D. Y., Lee, S. M., Jang, Y., Lee, J., Lee, C. M., Cho, E.-M., & Seo, Y. R. (2023). Adverse Human Health Effects of Chromium by Exposure Route: A Comprehensive Review Based on Toxicogenomic Approach. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3410. <https://doi.org/10.3390/ijms24043410>
- Singh, S., Kumar, A., & Gupta, H. (2020). Activated banana peel carbon: a potential adsorbent for Rhodamine B decontamination from aqueous system. *Applied Water Science*, 10(8), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01274-4>
- Syaifie, P. H., Taufiq, A., & Wardhani, G. A. (2019). Sintesis, Karakterisasi dan Aplikasi Zeolit Berbahan Dasar Kaolin dan Abu Sekam Padi Untuk Adsorpsi Logam Tembaga dan Krom Dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam. *Jurnal Teknologi Bahan Dan Barang Teknik*, 9(1), 17–24. <https://doi.org/10.37209/jtbtt.v9i1.129>
- Vaiopoulou, E., & Gikas, P. (2020). Regulations for chromium emissions to the aquatic environment in Europe and elsewhere. *Chemosphere*, 254, 126876. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126876>
- Widiastuti, N., Fachruddin, M. H., Setyaningsih, E. P., & Romadiansyah, T. Q. (2022). Adsorpsi Metilen Biru dan Kongo Merah pada Zeolit-A Hasil Sintesis dari Abu Dasar. *Jurnal Sains Terapan*, 8(1), 24–34. <https://doi.org/10.35718/specta.v3i3.157>
- Widiastuti, N., & Shara, P. R. (2019). Sintesis Zeolit-A Berpendukung Material Serat: Variasi Jumlah Material Pendukung. *Akta Kimia Indonesia*, 4(1), 50. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v4i1.4728>
- Zaeemzadeh, N., Jahanian Sadatmahalleh, S., Ziaei, S., Kazemnejad, A., Movahedinejad, M., Mottaghi, A., & Mohamadzadeh, N. (2021). Comparison of dietary micronutrient intake in PCOS patients with and without metabolic syndrome. *Journal of Ovarian Research*, 14(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s13048-020-00746-0>