MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v6i2.9020

OPTIMASI ADSORPSI ION KROM III (Cr3+) SEBAGAI ADSORBEN DENGAN SISTEM *KONTINU* MENGGUNAKAN ADSORBEN TANAH NAPA (*NAPA SOIL*)

Optimization of Chromium(III) Ion (Cr3+) Adsorption in a Continuous System Using Napa Soil Adsorbent

Rahmatul Hayani & Mawardi Mawardi
Universitas Negeri Padang
rahmatulhayani545@gmail.com; mawardianwar@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Dec 23, 2025	Jan 15, 2026	Jan 27, 2026	Feb 1, 2026

Abstract

Exposure to chromium(III) ions in liquid waste can have adverse impacts on human health and the environment, thereby necessitating treatment methods that are effective, economical, and environmentally friendly. Various natural materials have been investigated as heavy metal adsorbents; however, studies that specifically evaluate *tanah napa* from Pesisir Selatan Regency as an adsorbent for Cr^{3+} in a column (continuous) system remain limited. This study aimed to determine the material characteristics and the optimum conditions for Cr^{3+} ion adsorption using activated *tanah napa*. The research employed an adsorption method in a continuous system, in which the adsorbent with a particle size of 200 mesh (70 µm) was prepared through calcination at 750°C and activation using 1 M KOH. Material characterization was carried out using X-ray Fluorescence (XRF) and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy, while Cr^{3+} ion concentrations were analyzed using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results showed that the activation process increased the SiO_2 content to 65.781% and enhanced the presence of silanol and siloxane groups that play a role in

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

the adsorption mechanism. The optimum conditions for Cr^{3+} adsorption were achieved at pH 4 with a capacity of 1.0686 mg/g, an initial concentration of 200 mg/L with a capacity of 0.3343 mg/g, and a flow rate of 20 drops/min with a capacity of 1.8464 mg/g. The decrease in adsorption capacity at higher pH values was associated with the formation of chromium hydroxide precipitates, whereas the increase in flow rate reduced the contact time between adsorbate and active sites on the adsorbent. These findings indicate that activated *tanah napa* has promising potential to be developed as a low-cost alternative adsorbent for heavy metal waste treatment in continuous systems.

Keywords: Adsorption; Chromium(III); *Tanah Napa*; Continuous System; Optimization

Abstrak: Paparan ion logam *Kromium(III)* dalam limbah cair berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, sehingga diperlukan metode pengolahan yang efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan. Berbagai material alam telah dikaji sebagai adsorben logam berat, namun kajian yang secara khusus mengevaluasi tanah napa asal Kabupaten Pesisir Selatan sebagai adsorben Cr^{3+} dalam sistem kolom (*sistem kontinu*) masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik material serta kondisi optimum adsorpsi ion logam Cr^{3+} menggunakan tanah napa teraktivasi. Penelitian menggunakan metode adsorpsi dengan sistem kontinu, di mana adsorben berukuran 200 *mesh* (70 μm) dipreparasi melalui proses kalsinasi pada suhu 750°C dan aktivasi menggunakan *KOH* 1 M. Karakterisasi material dilakukan menggunakan *X-ray Fluorescence (XRF)* dan *Fourier Transform Infrared (FTIR)*, sedangkan konsentrasi ion Cr^{3+} dianalisis menggunakan *Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses aktivasi meningkatkan kandungan SiO_2 hingga 65,781% serta memperkuat keberadaan gugus silanol dan siloksan yang berperan dalam mekanisme adsorpsi. Kondisi optimum adsorpsi Cr^{3+} dicapai pada *pH* 4 dengan kapasitas 1,0686 mg/g, konsentrasi awal 200 mg/L dengan kapasitas 0,3343 mg/g, dan laju alir 20 tetes/menit dengan kapasitas 1,8464 mg/g. Penurunan kapasitas adsorpsi pada *pH* yang lebih tinggi dikaitkan dengan pembentukan endapan hidroksida kromium, sedangkan peningkatan laju alir menyebabkan berkurangnya waktu kontak antara adsorbat dan situs aktif adsorben. Temuan ini menunjukkan bahwa tanah napa teraktivasi berpotensi dikembangkan sebagai adsorben alternatif berbiaya rendah untuk pengolahan limbah logam berat dalam sistem berkelanjutan.

Kata Kunci: Adsorpsi; *Kromium(III)*; Tanah Napa; Sistem Kontinu; Optimasi

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan oleh logam berat yang dihasilkan dari berbagai limbah kegiatan industri merupakan tantangan lingkungan global yang dapat menimbulkan dampak positif dan dampak negatif terhadap lingkungan dan makhluk hidup. Sebagian besar industri di negara-negara dunia hanya sedikit atau bahkan tidak sama sekali menyediakan pengolahan limbah. Keberadaan limbah logam berat di perairan merupakan bahaya serius bagi manusia dan ekosistem. Hal ini karena limbah logam berat tidak dapat terurai secara alami di lingkungan (Dim dkk., 2021).

Beberapa contoh logam berat yang bersifat toksik pada lingkungan, diantaranya kromium (Cr), Kadnium (Cd), Mangan (Mn), Besi (Fe), Seng (Zn), Arsenik (As), Tembaga (Cu), Merkuri (Hg), Nikel (Ni). Apabila logam berat tersebut terakumulasi dalam tubuh manusia dapat merusak fungsi organ tubuh bahkan dapat menyebabkan kematian (Alkindi dkk., 2022).

Kromium (Cr) merupakan salah satu polutan logam berat beracun bersifat karsinogenik sehingga berdampak buruk bagi kesehatan manusia seperti asma bronkial, penyakit paru-paru, radang hidung, kanker, alergi kulit, kelainan perkembangan dan reproduksi dan penyakit lainnya (Irshad dkk., 2023). Selain itu, kromium dapat mencemari air melalui limbah yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia seperti industri pewarna kain, industri penyamakan kulit, pelapisan listrik, rumah tangga, pertanian, pertambangan, perikanan dan kegiatan lainnya (Pratiwi, 2020).

Menurut Kemenkes RI (2016) No.907/KEMENKES/SK/VII/2002 takaran maksimal konsentrasi untuk ion krom Cr^{3+} pada kromium adalah 0,05 ppm. Mengingat kecilnya batas konsentrasi yang diperbolehkan dan bahaya yang ditimbulkan pada perairan, maka perlu penanganan terhadap limbah logam berat sebelum dibuang langsung ke lingkungan. Maka dari itu saat ini langkah yang diambil untuk menangani hal tersebut diantaranya presipitasi, filtrasi, oksidasi/reduksi, elektrokimia, pertukaran ion, teknologi pemisahan dengan membran (reverse osmosis), sedimentasi, dan elektro-dialisis (Abdullah dkk., 2019). Meskipun keefektifannya telah terbukti, tetapi penggunaan beberapa metode tersebut memerlukan biaya operasional yang besar. Oleh karena itu dibutuhkan metode pengolahan messnggunakan bahan yang relatif murah, mudah didapatkan dan mempunyai daya serap yang tinggi (Rahayu dkk., 2021).

Salah satu usaha alternatif dalam pengolahan limbah pada logam berat yaitu menggunakan metode adsorpsi dengan material anorganik (adsorben) seperti tanah napa yang mengandung material silika-aluminat. Adsorpsi oleh tanah napa merupakan aplikasi yang relarif sederhana, murah dan aman bagi lingkungan. Tanah Napa merupakan material alami dengan kandungan alumina sebanyak (41,52 %) dan silika (51,70 %) (Mawardi dkk., 2018). Selain itu, kandungan gugus siloksan (Si-O-Si) dan gugus silanol (Si-OH) juga berperan penting pada metode adsorpsi. Padatan pada silika dan alumina memiliki porositas tinggi dengan diameter pori berukuran mikro serta memiliki luas permukaan yang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi. Silika-aluminat memiliki beberapa kelebihan seperti

mudah diproduksi, sangat inert, luas permukaannya besar, kemampuan adsorpsi yang baik, memiliki kapasitas pertukaran kation, hidrofilik, memiliki sisi aktif pada permukaannya, tidak reaktif dalam pelarut organik mempunyai kestabilan termal dan mekanik yang tinggi serta relatif tidak mengembang dalam pelarut organik (Hastuti dkk., 2023). Tanah napa di beberapa kabupaten atau kota di Sumatera Barat cukup melimpah seperti Kabupaten Pesisir Selatan, Tanah Datar, Solok dan Lima Puluh Kota. Namun dalam pemanfaatnnya masyarakat setempat baru menggunakan tanah napa sebagai obat diare dan sakit perut sehingga perlu dikembangkan lagi.

Berdasarkan penelitian sebelumnya telah dilakukan metode adsorpsi untuk logam berat yaitu pada logam Pb (II) menggunakan adsorben tanah napa dimana tanah napa sangat baik untuk menghilangkan Pb (II) dari air limbah sebagai pengganti bahan sintetis yang lebih mahal (Mawardi dkk., 2015). Mawardi dkk., (2012) juga melaporkan bahwa tanah napa dapat digolongkan sebagai zeolit karena memiliki kandungan alumina silikat yang tinggi sehingga tanah napa dapat digunakan sebagai penyerap logam pada limbah.

Komposisi kimia dari tanah napa terdiri dari silika (SiO_2), alumina (AI_2O_3), besi(III) oksida (Fe_2O_3), kalsium oksida (CaO), dan magnesium (Mg) (Mawardi dkk., 2021). Beberapa penelitian sebelumnya telah mengoptimalkan adsorpsi ion logam kromium menggunakan adsorben lain, seperti zeolit berlapis, resin sintetik maupun karbon aktif. Namun, penelitian yang spesifik mengenai adsorpsi ion krom III dengan menggunakan adsorben tanah napa Pesisir Selatan dalam sistem kontinu masih terbatas terutama pada daerah Pesisir Selatan. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan bahwa tanah napa berpotensi baik sebagai adsorben yang efektif terhadap logam berat. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis "Optimasi Adsorpsi Ion Krom III (Cr^{3+}) Sebagai Adsorben dengan Sistem Kontinu Menggunakan Adsorben Tanah Napa" dengan melihat pengaruh variasi pH, konsentrasi dan laju alir. Kemudian ion Cr(III) yang terserap dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) dan ditentukan kapasitas adsorpsi maksimumnya terhadap ion Cr(III) menggunakan sistim kontinu

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium dengan metode adsorpsi yang bertujuan untuk mengkaji kemampuan adsorpsi tanah napa (batu napa) terhadap ion logam Cr^{3+} dalam sistem kontinu. Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus

hingga Desember 2024 di Laboratorium Penelitian Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Desain penelitian menggunakan sistem adsorpsi kontinu dengan kolom, di mana variabel bebas meliputi pH larutan, konsentrasi ion Cr^{3+}, dan laju alir eluen**,** variabel terikat berupa jumlah ion Cr^{3+} yang teradsorpsi, serta variabel kontrol yang meliputi massa adsorben, volume larutan, dan ukuran partikel adsorben. Objek penelitian berupa tanah napa yang diambil langsung dari Kabupaten Pesisir Selatan dengan teknik *purposive sampling*, kemudian dipreparasi melalui proses penggilingan, pengayakan hingga ukuran 200 mesh (70 μm), dan kalsinasi pada suhu 750°C selama 4 jam. Adsorben selanjutnya diaktivasi secara kimia menggunakan larutan KOH 1 M**,** dicuci hingga pH netral, dikeringkan pada suhu 110°C, dan dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR dan XRF untuk mengetahui gugus fungsi serta komposisi unsur. Larutan ion logam Cr^{3+} dibuat dari $CrCl_3$ sebagai larutan induk 1000 ppm yang diencerkan menjadi variasi konsentrasi 50, 100, 150, 200, dan 250 ppm, sedangkan pengaturan pH larutan dilakukan menggunakan HNO_3 65% dan NH_3 25%**.** Proses adsorpsi dilakukan dengan memasukkan 1 gram adsorben ke dalam kolom, kemudian dialiri larutan Cr^{3+} pada kondisi pH, konsentrasi, dan laju alir tertentu. Filtrat yang keluar dari kolom ditampung dan dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk menentukan konsentrasi ion Cr^{3+} sisa. Data hasil pengukuran dianalisis secara kuantitatif deskriptif dengan membandingkan efektivitas penyerapan Cr^{3+} pada setiap variasi perlakuan guna menentukan kondisi adsorpsi optimum, sedangkan hasil karakterisasi FTIR dan XRF dianalisis untuk mendukung mekanisme interaksi antara adsorben dan ion logam Cr^{3+}.

HASIL

1. Karakterisasi Tanah Napa

Pada penelitian ini tanah napa sebelum dan sesudah aktivasi dikarakterisasi menggunakan instrumen XRF dan FTIR. Instrumen XRF digunakan untuk mengetahui komposisi kimia dari tanah napa sebelum aktivasi dan sesudah aktivasi. Tabel 3 menunjukkan bahwa komposisi kimia tanah napa mengalami perubahan setelah diaktivasi.

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa komponen utama penyusun tanah napa adalah Silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) Selain komponen utama, terdapat beberapa oksida logam

dalam jumlah yang lebih kecil yang dikategorikan sebagai pengotor (impurities) di antaranya adalah Besi (Fe_2O_3) 8,36%, Fosfor (P_2O_5) 3,255%, Kalium (K_2O) 3,364%, Titanium (TiO_2) 2,068%, dan Kalsium (CaO) 1,868%. Keberadaan pengotor ini secara alami terdapat dalam tanah napa, namun dalam konteks adsorpsi, beberapa pengotor seperti kalsium dan kalium awal dapat menempati situs aktif yang seharusnya dapat digunakan untuk mengikat adsorbat. Oleh karena itu, diperlukan proses aktivasi untuk mengoptimalkan kapasitas jerap dari material ini.

Proses aktivasi menggunakan larutan KOH 1 M bertujuan untuk memodifikasi permukaan Tanah Napa. Penambahan KOH berfungsi untuk melarutkan sebagian pengotor dan membuka pori-pori yang tertutup, sehingga luas permukaan efektif meningkat. Secara kimiawi, hal ini ditandai dengan perubahan proporsi kalium di dalam sampel. Jika kadar K_2O awal hanya sebesar 3,364%, maka setelah aktivasi nilai ini akan meningkat secara signifikan akibat adanya fiksasi ion kalium (K^+) ke dalam struktur antar-lapis tanah napa yaitu sebesar 15,250%. Peningkatan kadar kalium pasca-aktivasi menjadi indikator bahwa aktivator basa telah berhasil melakukan modifikasi kimiawi pada situs aktif silika-alumina, yang nantinya akan berperan penting dalam menangkap ion logam Chromium pada proses adsopsi.

Pada Tabel 1 terlihat terjadi penurunan kadar Al_2O_3 dari 18,799 % menjadi 16,534 %. Penurunan ini menunjukkan bahwa sebagian alumina dalam struktur tanah napa telah terlarut atau bereaksi dengan larutan KOH selama proses aktivasi (Rahmi & Mawardi, 2022). Selain itu, pada Table 1 juga diketahui konsentrasi SiO_2 mengalami peningkatan dari 61.497% menjadi 65,781%. Peningkatan kadar SiO_2 ini mengindikasikan bahwa selama proses aktivasi, komponen mineral yang mengandung aluminium lebih mudah terlarut dibandingkan dengan silika. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan stabilitas mineral pada kondisi basa yang diciptakan oleh larutan KOH. Mineral aluminosilikat yang kurang stabil cenderung lebih mudah terdekomposisi, sehingga melepaskan ion aluminium ke dalam larutan dan menyisakan struktur silika yang lebih stabil. Tingginya kadar silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) ini menginformasikan bahwa tanah napa merupakan aluminosilikat yang memiliki kerangka structural yang baik untuk proses penjerapan ion logam berat seperti ion logam Cr^{3+} (Ardhani, 2021).

Berdasarkan data XRF pada Tabel 1 sebelum pengontakan, kandungan kromium (Cr_2O_3) alami di dalam Tanah Napa sangatlah rendah, yaitu hanya 0,007%. Kandungan awal yang sangat minim ini menunjukkan bahwa Tanah Napa memiliki kapasitas kosong yang

sangat besar untuk menjerap ion Cr dari luar. apabila konsentrasi Cr di dalam larutan adsorbat menurun secara signifikan setelah dikontakkan dengan Tanah Napa, maka ion-ion tersebut telah berpindah dan terikat pada situs aktif yang telah dibuka oleh proses aktivasi KOH sebelumnya. Interaksi antara ion Cr dengan gugus silanol (Si−OH) dan aluminol (Al−OH) pada kerangka Tanah Napa menjadi mekanisme utama penjerapan.

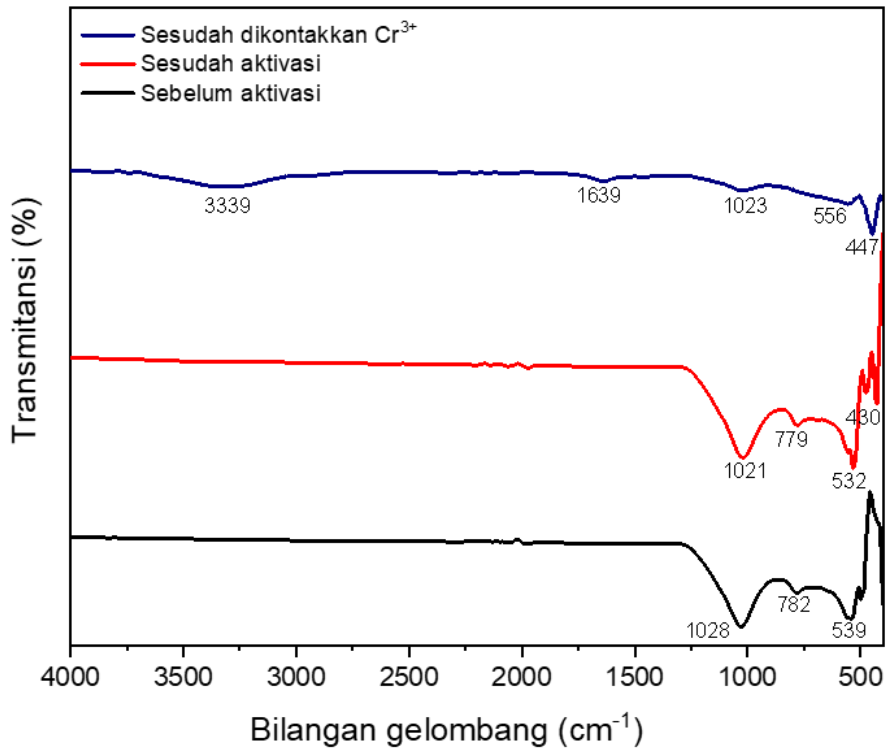
Tabel *1*.Komposisi Kimia Tanah Napa Sebelum dan Sesudah Diaktivasi

Senyawa	**Komposisi Kimia Tanah Napa (%)**	
	Tanpa Aktivasi	Sesudah Aktivasi KOH 1M
Al_2O_3	18.799	16.534
SiO_2	61.497	65.781
Fe_2O_3	8.36	7.093
P_2O_5	3.255	3.046
K_2O	3.364	15.250
CaO	1.868	1.673
Cr_2O_3	0,007	0,005
V_2O_5	0.042	0.039
MnO	0.024	0.021
ZnO	0.026	0.019
TiO_2	2,068	1,924
Ag_2O	0,477	0,398
ZrO2	0,088	0,074

Analisis lebih lanjut menggunakan FTIR yang ditampilkan pada Gambar 1 menunjukkan perubahan yang signifikan pada struktur kimia tanah napa setelah proses aktivasi dengan KOH. Terjadinya dealuminasi dalam tanah napa dapat diamati dari adanya pergeseran pada daerah serapan silika. Setelah tanah napa diaktivasi dengan KOH 1M terjadi pergeseran puncak diantaranya daerah vibrasi ulur asimetri Si-O-Si dari 1028 cm^{-1} menjadi 1021 cm^{-1} (vibrasi eksternal). Pada daerah vibrasi ulur simetris Si-O-Si juga terjadi pergeseran dari puncak 782 cm^{-1} menjadi 779 cm^{-1} (vibrasi internal) (Yani & R, 2017). Pergeseran juga terdapat pada puncak 539 menjadi 532 cm^{-1} pada vibrasi ulur Al-O (Chania & Mawardi, 2024). Selain itu, munculnya puncak serapan baru pada 430 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan

vibrasi *bending* dari ikatan Si-OH (Ellerbrock et al., 2022). Pergeseran ini mengindikasikan perubahan pada sudut ikatan Si-O-Si akibat restrukturisasi mineral setelah proses aktivasi (Cao et al., 2023).

Adsorben tanah napa teraktivasi setelah dikontakkan dengan Cr^{3+} dalam penelitian ini memiliki puncak baru pada 3339 cm^{-1} yang mengindikasikan vibrasi ulur O-H dari pelarut yang digunakan (akuades) dan pada puncak 1639 vibrasi ulur C-H dari material adsorben tanah napa. Selain itu, terdapat puncak baru pada 556 cm^{-1} yang merupakan puncak Cr-O, menunjukkan bahwa Cr^{3+} telah teradsorpsi pada adsorben(Kamari et al., 2019).



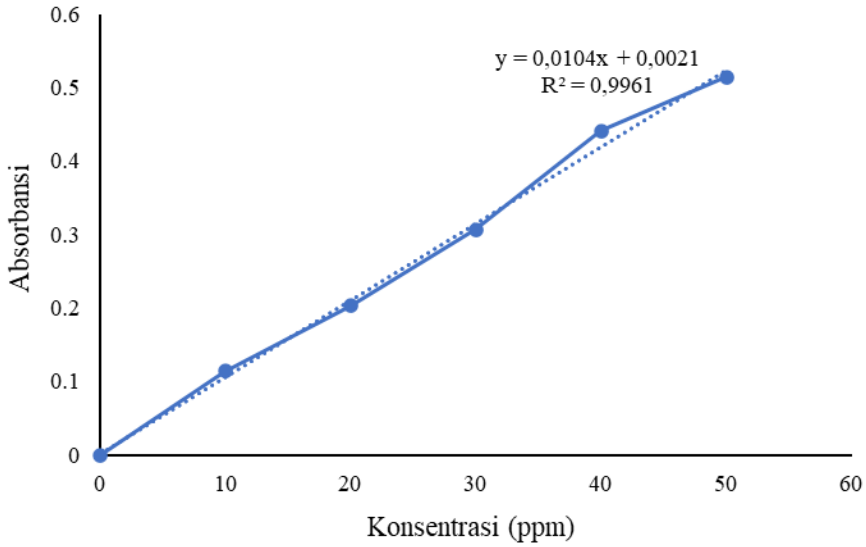
Gambar 1. Spektra FTIR tanah napa sebelum aktivasi, setelah aktivasi dan setelah kontak

2. Kurva Standar Cr^{3+}

Pembuatan kurva standar bertujuan untuk mengetahui hubungan konsentrasi larutan dengan nilai absorbansinya sehingga konsentrasi logam dapat diketahui. Pembuatan kurva standar Cr menghasilkan kurva yang ditampilkan pada Gambar 2.

Menurut hukum Lambert-Beer, jika konsentrasi larutan bertambah maka jumlah molekul yang dilewati seberkas sinar akan meningkat (Logue & Manandhar, 2018). Hal ini

sesuai dengan hasil pengukuran kurva standar yang menunjukkan besar larutan ion Cr^{3+} dengan persamaan linear $y = 0.104x + 0{,}0021$ dengan nilai $R^2 = 0.9961$ sehingga kurva standar ini dapat digunakan dalam penentuan kondisi optimum ion Cr^{3+}. Nilai R^2 yang memenuhi syarat adalah lebih dari 0,98.

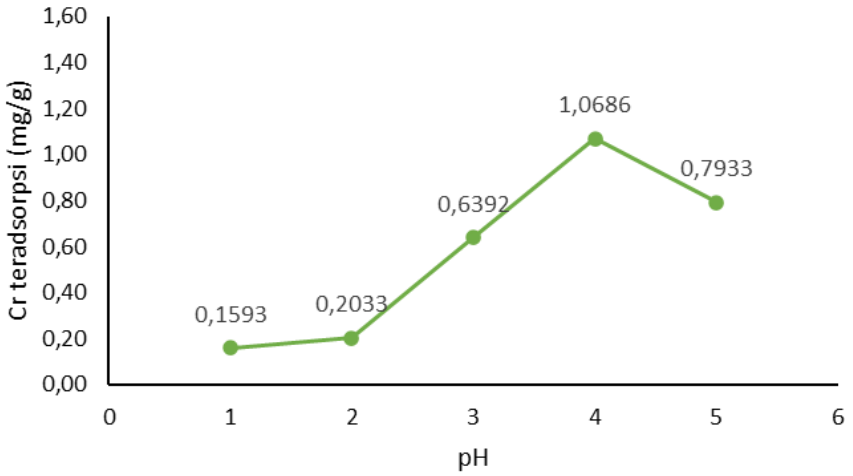


Gambar 2. Kurva Standar Larutan Ion Logam Cr^{3+}

3. Perlakuan pada Sistem Kontinu

a. Pengaruh pH Larutan pada Penyerapan Cr^{3+}

Derajat keasaaman (pH) merupakan faktor yang sangat mempengaruhi proses adsorpsi ion logam dalam larutan, derajat ionisasi, dan muatan pada permukaan adsorben (Khoshraftar et al., 2023). Analisis pengaruh variasi pH larutan adsorbat dilakukan dengan cara membandingkan kemampuan adsorpsi pada pH 1, 2, 3, 4, 5 oleh adsorben yang sama. Hasil penentuan pH optimum pada penyerapan ion logam Cr^{3+} dengan menggunakan adsorben tanah napa teraktivasi pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Pengaruh Variasi pH Terhadap Adsorpsi Ion Logam Cr^{3+}
(1 g Tanah Napa, 10 mL larutan Cr(III) 150 mg/L, 60 tetes/menit)

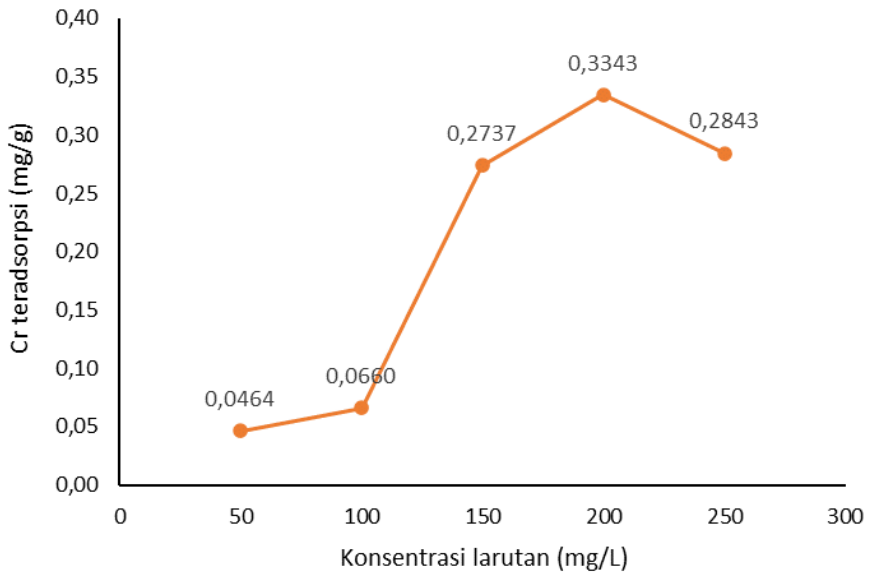
Berdasarkan grafik pada Gambar 3, pH optimum adsorpsi ion logam Cr^{3+} terdapat pada pH 4 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1,0686 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat keasaman lingkungan berpengaruh terhadap interaksi antara ion logam Cr^{3+} dengan permukaan adsorben. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian (Amalia, 2015) yang menggunakan karbon aktif dari biji trembesi dan memperoleh pH optimum 4 untuk adsorpsi ion logam Cr^{3+}. Berdasarkan grafik juga dapat terlihat bahwa pH larutan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas adsorpsi ion Cr^{3+} oleh tanah napa. Kapasitas adsorpsi mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan pH hingga mencapai nilai maksimum pada pH 4 dan sedikit menurun di pH 5. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh mekanisme adsorpsi yang dipengaruhi oleh muatan permukaan adsorben. Pada pH rendah, meningkatnya pH menyebabkan terjadinya pengionan yang lebih besar pada permukaan tanah napa sehingga terjadi interaksi antara ion logam Cr^{3+} dengan gugus aktif pada adsorben dan menyebabkan penyerapan semakin meningkat. Selain itu, pada pH sangat rendah, logam Cr berbentuk anion dalam kompleks stabil seperti $Cr_2O_7^{2-}$, $HCrO^{4-}$, CrO_4^{2-} dan $HCr_2O_7^{-}$ sehingga pada suasana asam, penyerapannya lebih tinggi karena jumlah ion H^+ lebih banyak di dalam larutan.

Berbeda dengan keadaan basa, pada keadaan basa jumlah ion H^+ lebih sedikit dan jumlah ion OH^- meningkat yang menyebabkan adanya kompetisi dengan $Cr_2O_7^-$ dalam pengikatan gugus aktif adsorben. Pada keadaan pH basa ini, ion logam juga dapat

membentuk endapan hidroksida sehingga proses adsorpsi akan cenderung lebih sulit (Maregianti et al., 2021). Pada grafik hasil penelitian ini yang ditampilkan pada Gambar 3, hal tersebut menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsi pada pH 5.

a. Pengaruh Konsentrasi Adsorbat

Konsentrasi awal ion logam merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi efisiensi proses adsorpsi. Umumnya bila konsentrasi yang digunakan semakin besar dalam proses adsorpsi maka penyerapan ion logam kromium oleh adsorben akan semakin meningkat sampai sisi aktif dari adsorben jenuh dan penyerapan yang terjadi cenderung konstan dan menurun (Mawardi et al., 2015). Pada penelitian ini, variasi konsentrasi Cr^{3+} dilakukan untuk mengkaji pengaruhnya terhadap kapasitas adsorpsi adsorben tanah napa. Hasil penentuan konsentrasi adsorbat ion Cr^{3+} dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi adsorbat terhadap adsorpsi ion logam cr^{3+}
(1 g Tanah Napa, 10 mL larutan Cr(III), pH 4, 60 tetes/menit)

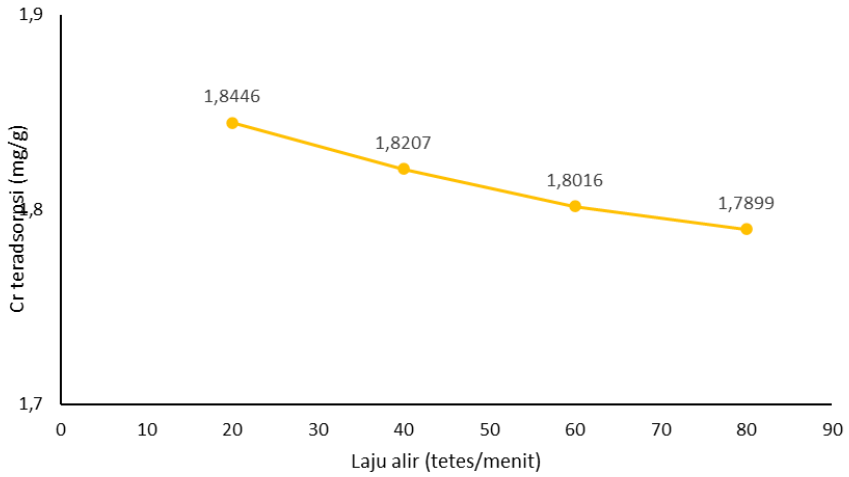
Berdasarkan grafik pada Gambar 14, konsentrasi optimum adsorbat larutan Cr^{3+} pada adsorpsi dengan adsorben tanah napa terdapat pada konsentrasi 200 mg/L dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,3343 mg/g.

Grafik pada Gambar 4 juga menunjukkan kapasitas adsorpsi Cr^{3+} meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi adsorbat hingga mencapai nilai optimum pada konsentrasi 200 mg/L. hal ini dapat dikarenakan peningkatan gaya dorong yang mempercepat difusi ion logam Cr^{3+} ke permukaan adsorben (Yani & R, 2017). Semakin tinggi konsentrasi adsorbat,

semakin banyak ion logam Cr^{3+} yang tersedia untuk berinteraksi dengan situs aktif pada permukaan tanah napa, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi. Namun, setelah mencapai konsentrasi optimum, terjadi sedikit penurunan kapasitas adsorpsi pada konsentrasi larutan Cr^{3+} 250 mg/L dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,2843 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi tersebut, situs aktif pada tanah napa telah mencapai kejenuhan yang artinya jumlah ion logam Cr^{3+} dalam larutan tidak sebanding (lebih banyak) dari jumlah partikel adsorben tanah napa yang tersedia, sehingga menyebabkan kemampuannya untuk mengikat ion logam Cr^{3+} menjadi berkurang.

b. Pengaruh Laju Alir

Variasi perlakuan laju alir dalam penelitian ini dilakukan pada 20, 40, 60 hingga 80 tetes/menit dan diterapkan pada larutan ion logam Cr^{3+} yang dialirkan ke dalam kolom. Dalam metode kolom, laju alir mempengaruhi waktu kontak antara adsorben dan adsorbat. Laju alir yang lebih tinggi mengakibatkan waktu kontak yang lebih singkat, dan sebaliknya, sehingga mempengaruhi kapasitas penyerapan ion logam oleh adsorben (Yahya et al., 2020). Pengaruh laju alir terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Cr^{3+} oleh adsorben tanah napa ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 3. Pengaruh Variasi Laju Alir Terhadap Adsorpsi Ion Logam Cr^{3+}
(1 g Tanah Napa, 10 mL larutan Cr(III) 200 mg/L, pH 4)

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, laju alir optimum adsorpsi ion logam Cr^{3+} terdapat pada 20 tetes/menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1,8446 mg/g. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Mawardi & Nisa (2013) yang melaporkan bahwa laju alir 20

tetes/menit merupakan laju alir optimum pada adsorpsi ion logam Cr^{6+} menggunakan tanah napa.

Dapat terlihat pada Gambar 5 bahwa kapasitas adsorpsi menurun seiring dengan peningkatan laju alir. Hal ini disebabkan semakin cepat laju alir, waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat semakin kecil sehingga menyebabkan kapasitas adsorpsi menurun pada laju alir yang rendah, ion logam Cr^{3+} memiliki waktu yang cukup untuk berdifusi ke dalam pori-pori tanah napa dan berinteraksi dengan situs aktif, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi.

PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa tanah napa yang digunakan dalam penelitian ini memiliki potensi tinggi sebagai adsorben ion logam Cr^{3+}, baik dari sisi komposisi mineral maupun struktur kimianya. Analisis XRF mengonfirmasi bahwa tanah napa didominasi oleh silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), yang merupakan kerangka utama material aluminosilikat dengan kemampuan adsorpsi yang baik terhadap logam berat. Proses aktivasi menggunakan KOH 1 M terbukti mampu memodifikasi permukaan tanah napa secara signifikan, yang ditunjukkan oleh meningkatnya kandungan K_2O serta menurunnya kadar pengotor seperti Fe_2O_3, CaO, dan TiO_2. Peningkatan kadar K_2O pasca-aktivasi mengindikasikan terjadinya interkalasi ion K^+ ke dalam struktur antar-lapis aluminosilikat, yang berkontribusi pada terbukanya pori-pori dan bertambahnya jumlah situs aktif. Penurunan kadar Al_2O_3 yang disertai peningkatan SiO_2 menunjukkan terjadinya proses dealuminasi parsial, yang secara struktural menghasilkan kerangka silika yang lebih stabil dan reaktif terhadap ion logam, sebagaimana juga dilaporkan pada material aluminosilikat teraktivasi dalam penelitian sebelumnya.

Temuan ini diperkuat oleh hasil analisis FTIR yang menunjukkan adanya pergeseran pita serapan Si–O–Si dan Al–O setelah aktivasi, yang menandakan restrukturisasi ikatan dalam jaringan mineral tanah napa. Munculnya pita baru yang berkaitan dengan gugus silanol (Si–OH) serta puncak Cr–O setelah adsorben dikontakkan dengan larutan Cr^{3+} memberikan bukti kuat bahwa mekanisme adsorpsi berlangsung melalui interaksi kimia antara ion Cr^{3+} dengan gugus aktif pada permukaan adsorben. Mekanisme ini sejalan dengan teori adsorpsi kimia *(chemisorption),* di mana ion logam berikatan dengan gugus hidroksil silika dan aluminol

melalui interaksi elektrostatik maupun pembentukan ikatan koordinasi, sebagaimana dilaporkan oleh Kamari et al. (2019) dan (Ardhani, 2021).

Pengaruh pH larutan terhadap adsorpsi Cr^{3+} menunjukkan bahwa kondisi lingkungan sangat menentukan efektivitas proses penjerapan. Kapasitas adsorpsi maksimum yang dicapai pada pH 4 mengindikasikan bahwa pada kondisi ini muatan permukaan adsorben dan spesiasi ion Cr berada dalam keadaan paling mendukung terjadinya interaksi. Pada pH rendah, permukaan adsorben cenderung terprotonasi sehingga kompetisi antara ion H^+ dan ion Cr^{3+} menghambat proses adsorpsi, sedangkan pada pH lebih tinggi, meningkatnya konsentrasi ion OH^- dapat menyebabkan pembentukan spesies hidroksida kromium atau endapan $Cr(OH)_3$ yang mengurangi jumlah ion yang dapat teradsorpsi secara efektif. Pola ini konsisten dengan temuan Amalia (2015) dan Li et al. (2018), yang melaporkan pH optimum adsorpsi Cr berada pada kisaran asam lemah hingga mendekati netral.

Variasi konsentrasi awal adsorbat menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi Cr^{3+} hingga mencapai kondisi optimum pada 200 mg/L, sebelum akhirnya menurun pada konsentrasi yang lebih tinggi. Fenomena ini mencerminkan keterbatasan jumlah situs aktif pada permukaan adsorben, di mana pada konsentrasi tinggi terjadi kejenuhan sehingga penambahan jumlah ion logam tidak lagi diikuti oleh peningkatan adsorpsi yang signifikan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Abbou et al. (2024) dan Gopal Reddi et al. (2017), yang juga melaporkan adanya konsentrasi optimum pada adsorpsi Cr^{3+} menggunakan berbagai je nis adsorben berbasis karbon dan polimer, serta mendukung teori difusi dan saturasi situs aktif pada proses adsorpsi.

Pengaruh laju alir dalam sistem kontinu menunjukkan bahwa waktu kontak merupakan faktor krusial dalam menentukan kapasitas adsorpsi. Laju alir optimum yang diperoleh pada 20 tetes/menit menunjukkan bahwa pada kondisi ini ion Cr^{3+} memiliki waktu yang cukup untuk berdifusi ke dalam pori-pori tanah napa dan berinteraksi dengan gugus aktif secara maksimal. Penurunan kapasitas adsorpsi pada laju alir yang lebih tinggi menegaskan bahwa kontak yang terlalu singkat tidak memungkinkan terjadinya interaksi adsorpsi secara optimal. Hasil ini konsisten dengan laporan Mawardi & Rahmi Khairun Nisa (2013) serta Yahya et al. (2020), yang menegaskan bahwa laju alir rendah lebih menguntungkan dalam sistem adsorpsi kolom untuk logam berat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan implikasi penting baik secara konseptual maupun praktis. Secara konseptual, penelitian ini memperkuat pemahaman mengenai peran aktivasi basa dalam meningkatkan performa adsorben aluminosilikat alami melalui modifikasi struktur dan kimia permukaan. Secara praktis, temuan ini menunjukkan bahwa tanah napa teraktivasi berpotensi dikembangkan sebagai adsorben alternatif berbiaya rendah untuk pengolahan limbah cair yang mengandung ion logam Cr^{3+}, khususnya dalam sistem kontinu yang lebih mendekati kondisi aplikasi industri.

Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian adsorpsi hanya dilakukan pada satu jenis ion logam dan dalam skala laboratorium, sehingga efektivitas adsorben pada limbah nyata yang mengandung multi-ion belum dapat dipastikan. Selain itu, penelitian ini belum mengevaluasi aspek regenerasi dan kestabilan adsorben setelah penggunaan berulang. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji performa tanah napa teraktivasi pada sistem multi-komponen, menguji siklus regenerasi adsorben, serta melakukan studi kinetika dan isoterm adsorpsi untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif.

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa tanah napa teraktivasi KOH memiliki karakteristik yang mendukung penggunaannya sebagai adsorben ion logam Cr^{3+} dalam sistem kontinu. Dominasi komponen aluminosilikat (SiO_2 dan Al_2O_3) serta keberadaan gugus aktif Si–O–Si dan Si–OH berperan penting dalam mekanisme adsorpsi. Kinerja adsorpsi sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi, dengan penyerapan Cr^{3+} paling efektif diperoleh pada pH 4, konsentrasi adsorbat 200 mg/L, dan laju alir 20 tetes/menit, yang menunjukkan adanya kondisi optimum antara muatan permukaan adsorben, spesiasi ion logam, dan waktu kontak dalam kolom adsorpsi.

Secara ilmiah dan praktis, temuan ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan material alam lokal sebagai adsorben alternatif berbiaya rendah untuk pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat, dengan karakteristik tanah napa yang memilki kandungan SiO_2 dan AI_2O_3 serta gugus fungsi Si-O-Si dan Si-OH yang berperan dalam proses adsorpsi ini sesuai untuk dijadikan sebagai adsorben. Aktivasi basa terbukti mampu meningkatkan kapasitas dan efektivitas adsorpsi tanah napa, sehingga berpotensi diaplikasikan dalam sistem pengolahan limbah berkelanjutan. Penelitian

selanjutnya disarankan untuk mengkaji performa adsorben ini pada sistem multi-ion, mengevaluasi regenerasi dan kestabilan adsorben, serta melakukan studi kinetika dan isoterm adsorpsi guna memperluas pemahaman mekanisme dan peluang aplikasinya.

DAFTAR PUSTAKA

Abbou, B., Lebkiri, I., & Ouaddari, H. (2024). Evaluation of illitic-kaolinite clay as an adsorbent for Cr3+ removal from synthetic aqueous solutions: Isotherm, kinetic, and thermodynamic analyses. *Chemical Physics Impact, 8*, 100527. https://doi.org/10.1016/j.chphi.2024.100527

Abdi, S., Setyo, A., Ediati, R., & Asranudin, A. (2025). Novel biocomposite of *Pseudomonas aeruginosa* supported by metal-organic framework UiO-66 in sodium alginate-polyvinyl alcohol matrices for methylene blue decolorization: Effect of crosslinking agents and. *International Journal of Biological Macromolecules, 305*(P1), 141016. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.141016

Abdullah, N., Yusof, N., Lau, W. J., Jaafar, J., & Ismail, A. F. (2019). Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 76*, 17–38. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.029

Alkindi, F. F., Risthanti, R. R., & Jong, M. (2022). Review Article: Analisis Kandungan Logam Berat dengan Bantuan Ligan Asam Tanat Secara Spektrofotometri Visible. *Medfarm: Jurnal Farmasi dan Kesehatan, 11*(2), 204–218. https://doi.org/10.48191/medfarm.v11i2.123

Amalia, N. (2015). *Adsorpsi Cr(III) dan Cr(VI) dalam Larutan Menggunakan Karbon Aktif dari Biji Trembesi (Samanea saman) Adsorption of Cr(III) and Cr(VI) from aqueous solution by activated carbon from trembesi (Samanea saman) seeds* [Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].

Bahrizal, Adella, F., & Kurniawati, D. (2020). Adsorption of rhodamine B from aqueous solution using langsat (*Lansium domesticum*) shell powder. *10*(ICoBioSE 2019), 273–276. https://doi.org/10.2991/absr.k.200807.054

Cao, G., Chen, C., Xu, H., Ban, J., Liu, F., Yuan, G., Lei, H., Su, Y., & Hu, J. (2023). Chemical regulation in the bonding reconstruction stage of amorphous Zr-Si oxidation and the resultant phase selection. *Materials and Design, 233*, 112291. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.112291

Chania, A. O., & Mawardi, M. (2024). Pemanfaatan Natrium Karbonat Na2CO3 sebagai Alternatif Alkali Aktivator untuk Pembuatan Semen Geopolimer Berbasis Tanah Napa. 8, 21295–21302.

Dim, P. E., Mustapha, L. S., Termtanun, M., & Okafor, J. O. (2021). Adsorption of chromium (VI) and iron (III) ions onto acid-modified kaolinite: Isotherm, kinetics and thermodynamics studies. *Arabian Journal of Chemistry, 14*(4), 103064. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103064

Ellerbrock, R., Stein, M., & Schaller, J. (2022). Comparing amorphous silica, short-range-ordered silicates and silicic acid species by FTIR. *Scientific Reports, 12*(1), 11708. https://doi.org/10.1038/s41598-022-15882-4

Gopal Reddi, M. R., Gomathi, T., Saranya, M., & Sudha, P. N. (2017). Adsorption and kinetic studies on the removal of chromium and copper onto Chitosan-g-maleic anhydride-g-ethylene dimethacrylate. *International Journal of Biological Macromolecules, 104*, 1578–1585. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.142

Hastuti, S., Martini, T., & Utami, A. T. (2023). Pemanfaatan Silika dari Abu Sekam Padi untuk Pembuatan Material Imprinted Ionic sebagai Adsorben Ion Logam Pb(II). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, 19*(2), 162–169. https://doi.org/10.20961/alchemy.19.2.70373.162-169

Irshad, M. A., Sattar, S., Nawaz, R., Al-Hussain, S. A., Rizwan, M., Bukhari, A., Waseem, M., Irfan, A., Inam, A., & Zaki, M. E. A. (2023). Enhancing chromium removal and recovery from industrial wastewater using sustainable and efficient nanomaterial: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 263*, 115231. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115231

Kamari, H. M., Al-Hada, N. M., Baqer, A. A., Shaari, A. H., & Saion, E. (2019). Comprehensive study on morphological, structural and optical properties of Cr2O3 nanoparticle and its antibacterial activities. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 30*(8), 8035–8046. https://doi.org/10.1007/s10854-019-01125-2

Khoshraftar, Z., Masoumi, H., & Ghaemi, A. (2023). On the performance of perlite as a mineral adsorbent for heavy metals ions and dye removal from industrial wastewater: A review of the state of the art. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 8*, 100385. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100385

Li, Y., Wei, Y., Huang, S., Liu, X., Jin, Z., Zhang, M., Qu, J., & Jin, Y. (2018). Biosorption of Cr(VI) onto *Auricularia auricula* dreg biochar modified by cationic surfactant: Characteristics and mechanism. *Journal of Molecular Liquids, 269*, 824–832. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.08.060

Logue, B. A., & Manandhar, E. (2018). Percent residual accuracy for quantifying goodness-of-fit of linear calibration curves. *Talanta, 189*, 527–533.

Maregianti, M., Wardani, G. A., & Wulandari, W. T. (2021). Adsorpsi Senyawa Antibiotik Tetrasiklin Hidrolirida Menggunakan Limbah Serbuk Gergaji dengan Metode Kolom. *Prosiding Seminar Nasional Diseminasi Penelitian*, 115–121.

Mawardi. (2012). Pengaruh Penggunaan Sumber Silika Alumina terhadap Karakteristik Semen yang Dihasilkan. *Periodic, 1*(2), 25–28. https://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia/article/view/2519/2128

Mawardi. (2013). Optimasi Tanah Napa sebagai Adsorben Ion Logam Kromium (IV). *Periodic, 2*(1). https://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia/article/view/1935/1655

Mawardi, Sanjaya, H., & Zainul, R. (2015). Characterization of napa soil and adsorption of Pb(II) from aqueous solutions using on column method. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 7*(12), 905–912.

Mawardi, Deyundha, D., Zainul, R., & Zalmi, P. R. (2018). Characterization of PCC cement by addition of napa soil from Subdistrict Sarilamak 50 Kota District as alternative additional material for Semen Padang. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 335*(1), 012034. https://doi.org/10.1088/1757-899X/335/1/012034

Mawardi, M., Isa, I. M., Ulianas, A., Sintiara, E., Mawardi, F., & Putra, R. Z. (2021). The fabrication of portland composite cement based on pozzolan napa soil. *Materials, 14*(13). https://doi.org/10.3390/ma14133638

Pratiwi, D. Y. (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) terhadap Organisme Perairan dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek, 1*(1).

Rahayu, A., Syauqi, R., & Kresna Islami, M. (2021). Teknologi Pengolahan Kandungan Kromium dalam Limbah Penyamakan Kulit Menggunakan Proses Adsorpsi: Review. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 90–99.

Rahmi, A., & Mawardi. (2022). Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH sebagai Alkali Aktivator terhadap Kuat Tekan Semen Geopolimer Berbasis Tanah Napa. *Periodic, 11*(2). https://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia/article/download/113719/pdf

Yahya, M. D., Abubakar, H., Obayomi, K. S., Iyaka, Y. A., & Suleiman, B. (2020). Simultaneous and continuous biosorption of Cr and Cu(II) ions from industrial tannery effluent using almond shell in a fixed bed column. *Results in Engineering, 6*, 100113. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100113

Yani, S. R., & R, Z. (2017). Aktivasi Tanah Napa dan Pengaruhnya terhadap Adsorpsi Ion Timbal (II)/Pb2+. *Chemistry Journal of State University of Padang*, 1–7.