

**ADSORPSI ION LOGAM KROMIUM HEKSAVALEN MENGGUNAKAN
ZEOLIT ALAM TERAKTIVASI ASAM KLOORIDA**

Laras Endah Sayekti¹, Aulia Wahyuningtyas², Teguh Pambudi³, Hilman Imadul Umam⁴
aulia.wahyuningtyas@ft.unsika.ac.id²
Universitas Singaperbangsa Karawang

Abstrak

Peningkatan spesies ion Kromium Heksavalen Cr (VI), dalam sistem perairan telah merugikan ekosistem dan kesehatan manusia. Mengatasi masalah tersebut maka dilakukan penelitian terkait adsorpsi ion Cr (VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi. Beberapa parameter seperti pH larutan, dosis adsorben, waktu kontak, dan konsentrasi awal larutan dipelajari untuk mengetahui kondisi optimal proses adsorpsi logam Cr (VI). Selain itu tinjauan kinetika dan isoterm adsorpsi dipelajari dalam penelitian ini. Adsorben yang digunakan yaitu zeolit alam terlebih dahulu melalui proses pencucian dan aktivasi kimia menggunakan HCl sebelum digunakan untuk proses adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimal adsorpsi terjadi pada pH 2, dengan dosis adsorben 0,20 g, waktu kontak 75 menit, dan konsentrasi awal larutan 300 ppm. Mekanisme kinetika adsorpsi dipelajari menggunakan model pseudo orde satu, pseudo orde dua, elovich, dan difusi intrapartikel. Mekanisme isoterm adsorpsi dipelajari menggunakan model Langmuir, Freundlich, dan Temkin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model pseudo orde satu merupakan model kinetika yang paling sesuai dalam mekanisme adsorpsi Cr (VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi dengan nilai $q_e = 0,3648$ mg/g dan korelasi koefisien sebesar 0,9423. Hasil tersebut menunjukkan bahwa adsorpsi dikendalikan oleh proses difusi. Adsorpsi Cr (VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi sesuai model isoterm Langmuir dengan faktor pemisahan sebesar 0,9836 yang berarti model isoterm Langmuir bersifat menguntungkan pada adsorpsi ion Cr (VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi. Kajian termodinamika menunjukkan bahwa proses adsorpsi Cr (VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi terjadi secara eksotermik dengan nilai entalpi sebesar -1,74 kJ/mol dan mengikuti proses fisisorpsi.

Kata Kunci: Kromium Heksavalen, Zeolit Alam, Adsorpsi.

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, pencemaran lingkungan perairan oleh logam kromium, muncul karena aktivitas antropogenik yang merupakan penyebab utama pencemaran, terutama akibat penambangan logam, peleburan, pengecoran logam, dan industri lain yang berbasis logam. Penggunaan logam berat di bidang pertanian seperti penggunaan pestisida, insektisida, pupuk, dan lain-lain. Penyebab alami juga dapat meningkatkan pencemaran logam berat seperti aktivitas gunung berapi, korosi logam, penguapan logam dari tanah dan air serta resuspensi sedimen, erosi tanah, pelapukan geologi (Briffa et al., 2020a). Limbah logam kromium memasuki sistem tanah baik secara alami maupun antropogenik, dan memberikan ancaman signifikan terhadap produktivitas pertanian berkelanjutan (Sarwar et al., 2023). Cr (VI) dapat dengan mudah menembus membran sel biologis menggunakan jalur sulfat karena sifat kimia dan strukturalnya kemiripan antara anion Cr (CrO_4) dan ion sulfat (SO_4) yang menimbulkan dampak buruk (Mumtaz et al., 2021).

Cr (VI) menimbulkan ancaman serius terhadap kesehatan manusia dan lingkungan karena bioakumulasinya dalam jaringan hidup, toksisitas, dan potensi karsinogenisitas (Mumtaz et al., 2021). Paparan Cr (VI) dalam jangka pendek menyebabkan iritasi atau ulserasi pada kulit lambung, sedangkan paparan jangka panjangnya dapat menyebabkan dermatitis, kerusakan hati, gagal ginjal, kerusakan jaringan saraf, dan kanker (Mumtaz et al., 2021). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kadar logam berat dari limbah industri masih sangat tinggi. Seperti pada limbah industri kosmetik (Arif., et al, 2021), dimana kadar Kromium (Cr) 0,0035 mg/L, dan Kadmium (Cd) 0,0010 mg/L. Kemudian pada limbah industri batik (Dasi., et al, 2021), kadar Pb 0,147 mg/L, dan Cr 0,987 mg/L. Dari referensi tersebut, kromium merupakan logam berat dengan kadar yang lebih tinggi sehingga penyisihan Cr (VI) dipelajari dalam penelitian ini.

Berbagai teknik telah dipelajari untuk menghilangkan Cr (VI) secara efisien seperti pertukaran ion, pengendapan kimia, koagulasi-flokulasi, adsorpsi, osmosis balik, dan teknologi elektrokimia (Mumtaz et al., 2021). Dari berbagai metode tersebut, adsorpsi menjadi pilihan terbaik karena biaya rendah, pengoperasian mudah, tidak ada biaya operasi tambahan untuk pembuangan lumpur, durasi waktu yang singkat, dan penerapan untuk banyak aplikasi (Velarde et al., 2023).

Ada beberapa macam adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi untuk menghilangkan logam berat, seperti karbon aktif, karbon nanotube, graphene oksida, silika dan karbon mesopori, tanah liat, zeolit, dan adsorben dari residu produk samping industri/pertanian (Velarde et al., 2023). Adsorben yang mempunyai kapasitas adsorpsi tinggi adalah yang mempunyai struktur berpori seperti spons laut, dan besarnya kapasitas adsorpsi ditentukan oleh jari-jari dan jumlah pori-pori tersebut (Zeng et al., 2010). Dengan karakteristik tersebut, zeolit alam telah digunakan sebagai sorben karena kinerjanya yang efektif dan biayanya yang rendah (Zeng et al., 2010).

Zeolit alam merupakan bahan alternatif untuk menghilangkan logam berat dari berbagai sumber yang mencemari air (Velarde et al., 2023). Zeolit merupakan material berpori dengan struktur aluminosilikat hidrasi dan kerangka tiga dimensi AlO_4 dan SiO_4 (Neolaka et al., 2022). Mineral-mineral ini memiliki kapasitas penyaringan molekuler, pertukaran ion, penyerap, dan katalitik yang tinggi sehingga menjadikan zeolit memiliki potensi sebagai mineral adsorpsi untuk digunakan dalam air permukaan dan air tanah yang terkontaminasi (Zeng et al., 2010). Mineral zeolit merupakan adsorben murah berbahan dasar anorganik dan bisa diterapkan untuk menghilangkan logam berat. Oleh karena itu, perkembangan adsorben berbiaya rendah difokuskan pada penggunaan zeolit alam karena zeolit alam telah dilaporkan memiliki stabilitas fisio-kimia yang sangat baik dan stabilitas termal yang baik, kapasitas adsorpsi yang tinggi, dan efisiensi untuk menghilangkan logam berat dibandingkan dengan zeolit sintesis (Neolaka et al., 2022). Penggunaan zeolit alam secara langsung sebagai adsorben tanpa aktivasi kimia atau fisika akan menurunkan kinerja material dalam proses adsorpsi. Oleh karena itu diperlukan aktivitas

fisik dengan mencuci dan memanfaatkan aliran panas untuk membebaskan pengotor dari struktur zeolit (Neolaka et al., 2022).

Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan studi adsorpsi ion logam Cr (VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi. Beberapa variabel seperti pengaruh pH larutan Cr (VI), waktu kontak, dosis adsorben, dan konsentrasi awal larutan Cr (VI) divariasikan untuk mendapatkan kondisi optimal proses adsorpsi Cr (VI) menggunakan zeolit aktivasi.

METODOLOGI

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2023 – Desember 2023 di UPT Laboratorium Dasar Universitas Singaperbangsa Karawang

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah Magnetic Stirrer, Crusher, Oven, Neraca analitik, pH universal, ayakan 100 mesh, pipet tetes, pipet ukur, gelas beker, corong, erlenmeyer, kaca arloji, gelas ukur, labu ukur, termometer, kertas saring whattman, spin bar, spatula, gunting aluminium foil.

Bahan yang digunakan adalah zeolit alam dari PUDAK, asam klorida (HCl) 0,1M teknis, asam klorida (HCl) 6M p.a., Cr (VI) Potassium dichromate p.a., NaOH 0,1M teknis, Aqua DM, etanol p.a.

Prosedur

1. Pencucian Zeolit Alam

Zeolit alam dihaluskan menggunakan crusher, kemudian diayak dengan ayakan 100 mesh. Lalu dicuci dengan Aqua DM dengan perbandingan 2:3 (200gr zeolite:300 ml Aqua DM). Kemudian di stirrer selama 1 jam pada suhu 70 °C, setelah itu disimpan semalaman dan dicuci dengan Aqua DM lalu disaring. Langkah ini diulangi sebanyak 3 kali. Endapan hasil pencucian dioven dengan suhu 100 °C selama 1 jam.

2. Aktivasi kimia Zeolit Alam

Sampel hasil pencucian, kemudian di stirrer dengan 200 ml HCl 6M selama 1 jam dengan suhu 50 °C. Hasil tersebut disaring dan dicuci dengan Aqua demineralisasi sampai pH berubah menjadi pH Aqua demineralisasi, lalu dikeringkan dengan oven suhu 100 °C selama 1 jam.

3. Karakterisasi Zeolit Alam

Zeolit Alam murni dan Zeolit Alam yang telah di aktivasi, kemudian diambil masing-masing sebanyak 3 gram untuk di uji menggunakan FTIR Nicolet Is5 Thermoscientific dengan panjang gelombang transmittan 400-4000 1/cm. Dan sebanyak 3 gram zeolit aktivasi di uji lagi menggunakan Bruker D2 Phaser X-Ray Diffraction.

4. Adsorpsi Cr (VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi

1) Pembuatan Larutan Cr (VI) 1000 ppm

Potassium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) ditimbang sebanyak 0,2832 gram, kemudian ditambahkan 100 ml aquades untuk membuat Larutan Cr (VI) 1000 ppm menggunakan labu ukur. Larutan Cr (VI) 1000 ppm kemudian akan digunakan selama proses variasi pH, dosis adsorben, waktu kontak, dan konsentrasi awal larutan.

2) Variasi pH larutan

Zeolit alam yang telah diaktivasi diinteraksikan dengan 50 mL larutan Cr (VI) 100 ppm dengan dosis adsorben 0,20 gram. Larutan Cr (VI) 100 ppm dibuat dengan 10 mL Larutan Cr (VI) 1000 ppm dan 100 mL Aqua demineralisasi menggunakan labu ukur. Ukuran pH larutan Cr (VI) divariasi pada pH 2, 4, 6, dan 8. Campuran diaduk selama 60 menit. Kemudian adsorben dipisahkan dari Larutan Cr (VI) dengan disaring menggunakan kertas saring whattman. Filtrat hasil pemisahan diukur adsorbansinya menggunakan Shimadzu PharmaSpec UV-1700 mba. Penentuan konsentrasi Cr (VI) dilakukan menggunakan metode kurva kalibrasi standar. Kurva standar dibuat dengan memplotkan absorbansi terhadap konsentrasi larutan standar Cr (VI).

3) Variasi dosis adsorben

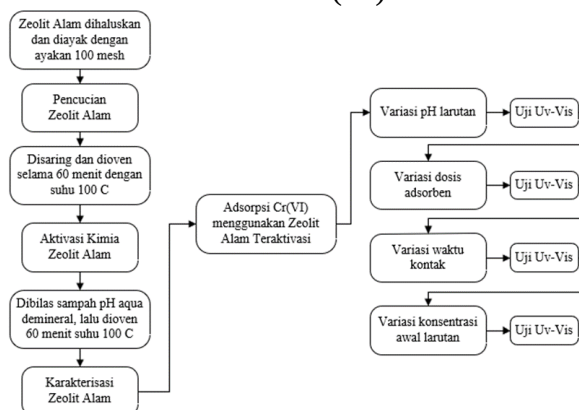
Zeolit alam yang telah diaktivasi diinteraksikan dengan 50 mL larutan Cr (VI) 100 ppm dengan pH optimum. Larutan Cr (VI) 100 ppm dibuat dengan 10 mL Larutan Cr (VI) 1000 ppm dan 100 mL Aqua demineralisasi menggunakan labu ukur. Dosis adsorben divariasi pada 0,10; 0,20; 0,30; dan 0,35 gram. Campuran diaduk selama 60 menit. Kemudian adsorben dipisahkan dari Larutan Cr (VI) dengan disaring menggunakan kertas saring whattman. Filtrat hasil pemisahan diukur adsorbansinya menggunakan Shimadzu PharmaSpec UV-1700 mba. Penentuan konsentrasi Cr (VI) dilakukan menggunakan metode kurva kalibrasi standar. Kurva standar dibuat dengan memplotkan absorbansi terhadap konsentrasi larutan standar Cr (VI).

4) Variasi waktu kontak

Zeolit alam yang telah diaktivasi diinteraksikan dengan 50 mL larutan Cr (VI) 100 ppm dengan pH optimum dan dosis adsorben optimum. Larutan Cr (VI) 100 ppm dibuat dengan 10 mL Larutan Cr (VI) 1000 ppm dan 100 mL Aqua demineralisasi menggunakan labu ukur. Campuran diaduk selama variasi waktu kontak yaitu 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, dan 90 menit. Kemudian adsorben dipisahkan dari Larutan Cr (VI) dengan disaring menggunakan kertas saring whattman. Filtrat hasil pemisahan diukur adsorbansinya menggunakan Shimadzu PharmaSpec UV-1700 mba. Penentuan konsentrasi Cr (VI) dilakukan menggunakan metode kurva kalibrasi standar. Kurva standar dibuat dengan memplotkan absorbansi terhadap konsentrasi larutan standar Cr (VI).

5) Variasi konsentrasi awal larutan

Zeolit alam yang telah diaktivasi diinteraksikan dengan 50 mL larutan Cr(VI) dengan pH optimum, dosis adsorben optimum, dan campuran diaduk selama waktu kontak optimum. Konsentrasi awal larutan divariasikan pada 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, dan 300 ppm. Larutan Cr(VI) 25 ppm dibuat dengan 2,5 mL Larutan Cr(VI) 1000 ppm dan 100 mL Aqua demineralisasi menggunakan labu ukur; 50 ppm dibuat dengan 5 mL Larutan Cr(VI) 1000 ppm dan 100 mL Aqua demineralisasi menggunakan labu ukur; 75 ppm dibuat dengan 7,5 mL Larutan Cr(VI) 1000 ppm dan 100 mL Aqua demineralisasi menggunakan labu ukur; 100 ppm dibuat dengan 10 mL Larutan Cr(VI) 1000 ppm dan 100 mL Aqua demineralisasi menggunakan labu ukur; 125 ppm dibuat dengan 12,5 mL Larutan Cr(VI) 1000 ppm dan 100 mL Aqua demineralisasi menggunakan labu ukur; 150 ppm dibuat dengan 15 mL Larutan Cr(VI) 1000 ppm dan 100 mL Aqua demineralisasi menggunakan labu ukur; 200 ppm dibuat dengan 20 mL Larutan Cr(VI) 1000 ppm dan 100 mL Aqua demineralisasi menggunakan labu ukur; 300 ppm dibuat dengan 30 mL Larutan Cr(VI) 1000 ppm dan 100 mL Aqua demineralisasi menggunakan labu ukur. Kemudian setelah diaduk, adsorben dipisahkan dari Larutan Cr(VI) dengan disaring menggunakan kertas saring whattman. Filtrat hasil pemisahan diukur adsorbansinya menggunakan Shimadzu PharmaSpec UV-1700 mba. Penentuan konsentrasi Cr (VI) dilakukan menggunakan metode kurva kalibrasi standar. Kurva standar dibuat dengan memplotkan absorbansi terhadap konsentrasi larutan standar Cr (VI).



Gambar 1. Metode Adsorpsi ion Cr (VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Zeolit Alam

Pencucian fisik pada zeolit bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang menyumbat pori-pori, secara progresif menghilangkan kation untuk berubah menjadi bentuk $-H$ dan akhirnya mendealuminasi strukturnya. Pada saat dealuminasi, komposisi zeolit termodifikasi dan mengurangi jumlah atom aluminium yang ada di dalam jaringan. Hal ini dapat dilakukan dengan berbagai perlakuan khususnya perlakuan asam. Perlakuan asam menggunakan HCl akan mengurangi kapasitas pertukaran kation dan rasio Si/Al sehingga memberikan keuntungan untuk adsorpsi/pemisahan molekul non-polar dari aliran air atau gas, oleh karena itu rasio Si/Al menentukan kekuatan situs asam. Adanya penambahan HCl ke dalam zeolit alam bertujuan untuk melarutkan dan menghilangkan oksida-oksida logam yang menutupi permukaan zeolit dan terjerap di dalamnya, membersihkan pori-pori, dan mengatur kembali tata letak atom yang dipertukarkan. Oksida-oksida logam tersebut yaitu Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , K_2O dan TiO_2 . Pencucian setelah aktivasi HCl bertujuan untuk menghilangkan ion H^+ dan Cl^- yang tidak terikat pada permukaan zeolit, hal tersebut mengakibatkan filtrat hasil pencucian menggunakan HCl berwarna hijau karena pengotor pada permukaan zeolit sudah hilang.



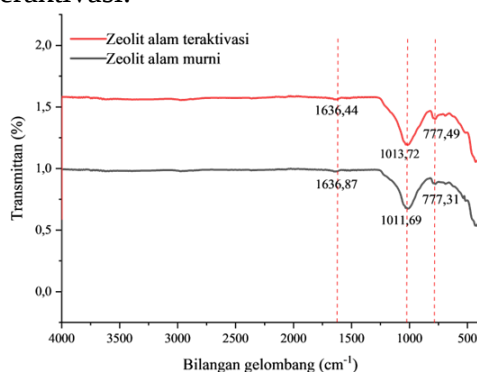
Gambar 2. (a) zeolit alam, (b) zeolit alam teraktivasi

Dari hasil pencucian, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan warna antara zeolit alam murni dan zeolit alam hasil aktivasi. Hal ini dikarenakan setelah proses aktivasi zeolit alam dalam kondisi asam mampu meningkatkan volume pori-pori dan luas permukaan material yang mendukung proses adsorpsi. Saat aktivasi menggunakan HCl, HCl mendorong penghilangan kation yang bersifat positif, dan mempertahankan anion yang bersifat negatif. Jadi zeolit hasil aktivasi menggunakan HCl bersifat penukar kation, hal ini tentu akan mempermudah proses adsorpsi $Cr(VI)$ menggunakan Zeolit alam teraktivasi.

Karakterisasi zeolit alam

1. Karakterisasi Zeolit Alam menggunakan FTIR

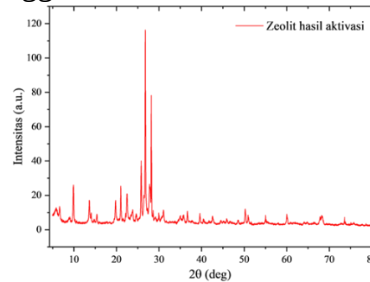
Hasil karakterisasi FTIR didapatkan spektrum berdasarkan pada perbedaan karakteristik energi getaran setiap gugus fungsi dan jenis pengikatan kimia tertentu, hal-hal tersebut bergantung pada massa relatif atom, konstanta gaya/pengikatan kaku, dan geometri gugus fungsinya. Analisis menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam zeolit alam murni maupun zeolit alam teraktivasi.



Gambar 3. Spektrum FTIR Zeolit alam murni dan Zeolit alam teraktivasi

Gambar 3. menunjukkan hasil analisis FTIR Zeolit alam murni dan Zeolit teraktivasi. Spektrum FTIR menunjukkan keberadaan zeolit alam pada rentang panjang gelombang 450-1200 cm^{-1} . Bilangan gelombang 777,31 dan 777,49 teridentifikasi sebagai Si-O dan vibrasi Al-O. Puncak pada panjang gelombang 1011,69 dan 1013,72 berhubungan dengan vibrasi ulur asimetris ikatan T-O-T ($\text{T}=\text{Si}/\text{Al}$, dalam mineral zeolit) antar tetrahedral pada unit $\text{SiO}_4/\text{AlO}_4$. Puncak pada bilangan gelombang 1636,87 dan 1636,44 adalah vibrasi lentur O-H dalam molekul air, diperkirakan berasal dari ikatan Si-OH pada material. Hasil FTIR ini sejalan dengan hasil FTIR penelitian Neolaka (Neolaka et al., 2022) yang menggunakan Zeolit alam asal Ende-Flores Indonesia, dengan panjang gelombang 1007,66; 776,24; 1654,69; dan 1634,44 cm^{-1} .

2. Karakterisasi Zeolit Alam menggunakan XRD



Gambar 4. Pola XRD Zeolit alam teraktivasi

Karakterisasi XRD digunakan untuk mengkonfirmasi dan mengidentifikasi fase dan kristalinitas zeolit alam teraktivasi. Gambar 4. menunjukkan pola XRD zeolit alam teraktivasi dengan puncak difraksi spesifik pada $2\theta = 13,6^\circ$; $19,7^\circ$; $25,8^\circ$; $27,8^\circ$. Dari difraktogram diketahui bahwa jenis zeolit alam teraktivasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah modernit yang diperoleh dengan membandingkan standar modernit JCPDS No. 6-239 dengan standar $2\theta = 13,2^\circ$; $19,7^\circ$; $25,7^\circ$; $27,7^\circ$.

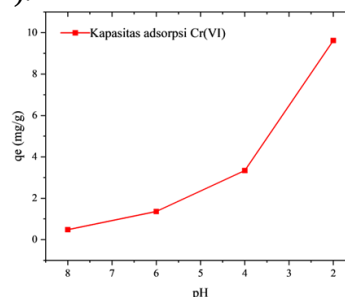
Berdasarkan hasil pengujian XRD dari zeolit alam teraktivasi, diperoleh struktur mineral modernit. Modernit merupakan kelompok zeolit yang termasuk ke dalam zeolit mikropori dengan struktur kristal orthorombik dengan saluran-saluran terbuka yang memungkinkan air dan ion-ion berukuran besar keluar dan masuk melalui saluran tersebut. Sifat zeolit ini sama hal nya dengan zeolit alam Malang dan zeolit alam Gunung Kidul karena memiliki struktur modernit (Al Muttaqii et al., 2019).

Adsorpsi menggunakan zeolit alam

Kapasitas adsorpsi adalah kapasitas adsorben dalam menyerap adsorbat. Kapasitas adsorpsi bertujuan untuk mengetahui kemampuan penyerapan zeolit alam teraktivasi terhadap Cr(VI) (Stiyati Prihatini & Syauqiah, 2017).

1. Pengaruh pH larutan

Penyisihan kromium (VI) dengan zeolit bergantung pada pH larutan karena pH menentukan selektivitas ion logam dan mempengaruhi muatan adsorben (Álvarez et al., 2021b). pH merupakan salah satu parameter penting dalam proses adsorpsi karena menentukan konsentrasi proton H^+ yang menentukan potensi muatan permukaan adsorben dan jenis spesies ion Cr(VI) yang ada dalam larutan (Neolaka et al., 2022).



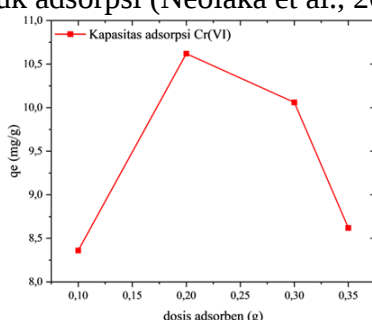
Gambar 5. Grafik pH optimum vs kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan Cr(VI)

Dari grafik diatas (Gambar5.) menunjukkan bahwa dengan meningkatnya pH (basa) maka efisiensi penyisihan Cr(VI) menurun. Adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi pada rentang pH 2 dan 8 menggunakan 50 mL larutan potassium dikromat 100 ppm, adsorben 0,20 g selama waktu kontak 60 menit. Hubungan pH dengan kapasitas adsorpsi pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa kondisi adsorpsi maksimum ion Cr(VI) menggunakan zeolit berada pada pH 2 dengan nilai 9,62.

Pada pH kurang dari 1, Cr(VI) ditemukan dalam bentuk H_2CrO_4 . Pada pH antara 2 dan 6, Cr(VI) terdapat dalam bentuk spesies $-HCrO_4$, dan pada pH lebih dari 7, CrO_4 dan Cr_2O_7 akan menjadi spesies yang dominan dalam larutan (Neolaka et al., 2022). Pada pH 2, spesies Cr(VI) berada dalam bentuk kesetimbangan antara Cr_2O_7 dan $HCrO_4$. Pada pH yang lebih asam ($pH < 2$), permukaan adsorben akan terprotonasi sehingga muatan positif yang terbentuk mengakibatkan adsorpsi ion Cr(VI) tidak efektif karena terjadi tolakan elektrostatis. Seperti pada pH 1 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi lebih rendah dibanding pada pH 2, karena pada pH 1 Cr(VI) bersifat relatif tidak bermuatan sehingga menyebabkan interaksi elektrostatis yang lemah dengan situs aktif pada zeolit alam teraktivasi. Sebaliknya, pada kondisi basa tidak terjadi protonasi permukaan zeolit sehingga muatan negatif yang terbentuk akan menguntungkan proses adsorpsi secara elektrostatis (Neolaka et al., 2022). Tetapi pada pH basa, ion Cr(VI) dapat membentuk endapan hidroksida sehingga proses adsorpsi terhambat (Stiyati Prihatini & Syauqiah, 2017).

2. Pengaruh Dosis Adsorben

Massa adsorben merupakan kuantitas penting yang dapat digunakan untuk mewakili jumlah situs aktif yang dapat diakses untuk adsorpsi (Neolaka et al., 2022).



Gambar 6. Grafik hubungan dosis adsorben vs kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan Cr(VI)

Adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi pada rentang dosis 0,10 dan 0,35 gram menggunakan 50 mL larutan potassium dikromat 100 ppm, pH 2 selama waktu kontak 60 menit. Hubungan dosis adsorben dengan kapasitas adsorpsi pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa kondisi adsorpsi maksimum ion Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi berada pada 0,20 g dengan nilai 10,62. Hasil menunjukkan bahwa 0,20 g adsorben cukup untuk memberikan luas permukaan yang jauh lebih besar, sehingga kemungkinan besar partikel Cr(VI) akan berkontak dengan situs aktif adsorben.

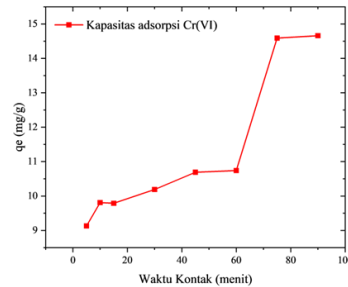
Hasil menunjukkan bahwa 0,20 g adsorben cukup untuk memberikan luas permukaan yang jauh lebih besar, sehingga kemungkinan besar partikel Cr(VI) akan berkontak dengan situs aktif adsorben. Ketika massa adsorben yang digunakan lebih dari 0,20 g, terjadi penurunan kapasitas adsorpsi. Jadi jumlah Cr(VI) yang teradsorpsi semakin berkurang seiring bertambahnya massa adsorben yang digunakan. Hasil ini terkait dengan laporan Neolaka (Neolaka et al., 2022)

Semakin bertambah massa adsorben yang digunakan, maka nilai efisiensi adsorpsi terhadap ion Cr(VI) semakin tinggi. Bertambahnya massa adsorben sebanding dengan bertambahnya jumlah partikel sehingga jumlah tempat mengikat ion logam bertambah dan efisiensinya pun mengikat (Stiyati Prihatini & Syauqiah, 2017). Sementara pada penelitian ini efisiensi terbesar terjadi pada massa 0,20 g, hal ini karena permukaan sudah jenuh atau mendekati jenuh terhadap adsorbat.

Dapat terjadi dua hal, yaitu pertama terbentuk lapisan adsorpsi kedua dan seterusnya diatas adsorbat yang telah terikat di permukaan adsorben dan gejala ini disebut multilayer. Sedangkan yang kedua tidak terbentuk lapisan kedua dan seterusnya sehingga adsorbat yang belum teradsorpsi berdifusi keluar pori-pori dan kembali ke arus fluida (Stiyati Prihatini & Syaughiah, 2017).

3. Pengaruh waktu kontak

Waktu kontak merupakan parameter penting lainnya dalam proses adsorpsi. Parameter ini berkaitan dengan banyaknya tumbukan antara adsorben dan adsorbat (Neolaka et al., 2022).

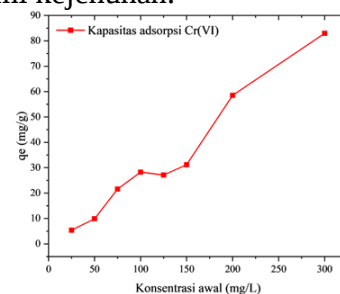


Gambar 7. Grafik hubungan waktu kontak optimum vs kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan Cr(VI)

Pada gambar 7. adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi pada rentang waktu kontak 5 dan 90 menit menggunakan 50 mL larutan potassium dikromat 100 ppm, adsorben 0,20 g, dan pH 2. Hubungan waktu kontak dengan kapasitas adsorpsi pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kondisi adsorpsi maksimum ion Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi berada pada 75 menit dengan nilai 14,59. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu adsorpsi maka semakin besar kemungkinan adsorbat Cr(VI) bertumbukan dengan adsorben. Semakin lama waktu kontak maka semakin besar kemungkinan ion Cr(VI) teradsorpsi pada sisi aktif adsorben. Tetapi saat telah mencapai kesetimbangan, maka kapasitas adsorpsi akan konstan dan kemudian jenuh.

4. Pengaruh konsentrasi awal larutan

Pengaruh konsentrasi larutan menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi Cr(VI) maka adsorbat yang tersedia semakin banyak sehingga nilai adsorpsi semakin tinggi. Tetapi saat mencapai kesetimbangan, maka akan mengalami kejenuhan akibat situs aktif yang sudah dipenuhi oleh Cr(VI). Hal ini terjadi karena adsorben memiliki pori pori dan situs aktif yang besar sehingga dibutuhkan lebih banyak konsentrasi Cr(VI) yang lebih besar untuk sepenuhnya menempati semua sisi aktif tersebut sampai mengalami kejenuhan.

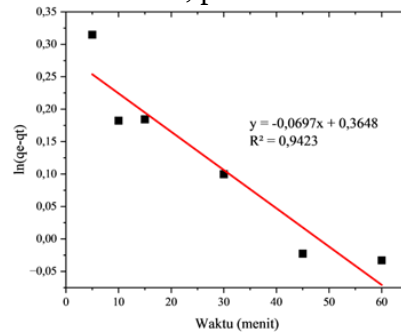


Gambar 8. Hubungan konsentrasi awal optimum vs kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan Cr(VI)

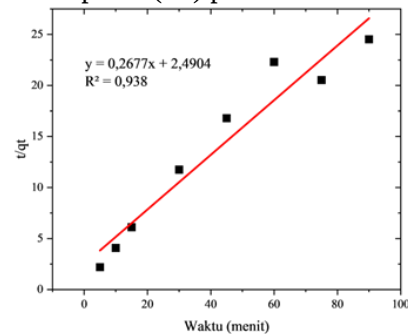
Adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi pada rentang waktu kontak 75 menit menggunakan 50 mL larutan potassium dikromat variasi konsentrasi dengan rentang 25 dan 300 ppm, adsorben 0,20 g, dan pH 2. Hubungan konsentrasi awal larutan dengan kapasitas adsorpsi pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa kondisi adsorpsi maksimum ion Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi berada pada 300 ppm dengan nilai 82,95. Hasil menunjukkan Semakin besar konsentrasi adsorbat, maka semakin banyak jumlah zat terlarut yang dapat diadsorpsi sampai mencapai kondisi kesetimbangan yaitu laju zat yang diserap sama dengan laju zat yang dilepas dari adsorben.

5. Kinetika Adsorpsi

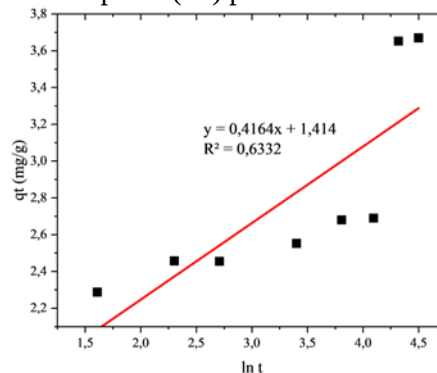
Kinetika adsorpsi merupakan aspek penting untuk dipelajari, yang dapat mengetahui mekanisme adsorpsi Cr(VI) pada permukaan adsorben zeolit alam teraktivasi. Berikut merupakan hasil kinetika adsorpsi ion Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi yang dipelajari dengan menggunakan model kinetika pseudo orde satu, pseudo orde dua, Elovich, dan difusi intrapartikel.



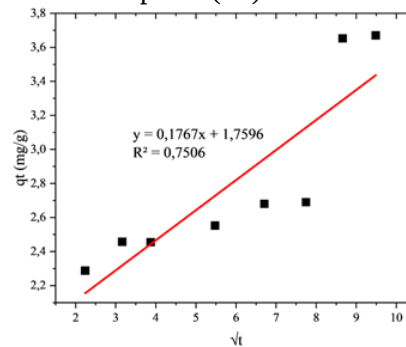
Gambar 9. Pemodelan kinetika adsorpsi Cr(VI) pseudo orde satu



Gambar 10. Pemodelan kinetika adsorpsi Cr(VI) pseudo orde dua



Gambar 11. Pemodelan kinetika adsorpsi Cr(VI) Elovich



Gambar 12. Pemodelan kinetika adsorpsi Cr(VI) Difusi Intrapartikel

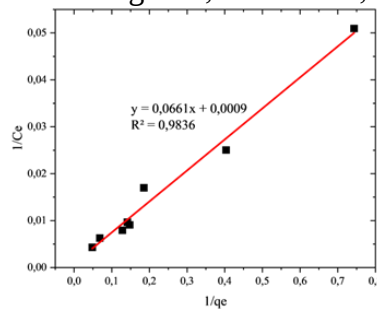
Tabel 1. menunjukkan bahwa adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi mengikuti model pseudo orde satu dengan korelasi koefisien (R^2) sebesar 0,9423 dan model pseudo orde satu menggambarkan proses difusi.

Tabel 1. Nilai parameter pemodelan kinetika adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi

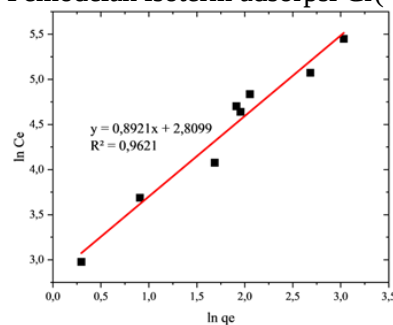
Model Kinetika	Parameter
Pseudo Orde Satu	$R^2 = 0,9423$ $k_1 = -0,0697 \text{ m}^{-1}$ $q_e = 0,3648 \text{ mg/g}$
Pseudo Orde Dua	$R^2 = 0,938$ $k_2 = 0,2677 \text{ g/mg menit}$ $q_e = 2,4904 \text{ mg/g}$
Elovich	$R^2 = 0,6332$ $\alpha = 1,414$ $\beta = 0,4164$
Difusi Intrapartikel	$R^2 = 0,7506$ $k_t = 0,1767 \text{ mg/g menit}^{1/2}$

6. Isoterm Adsorpsi

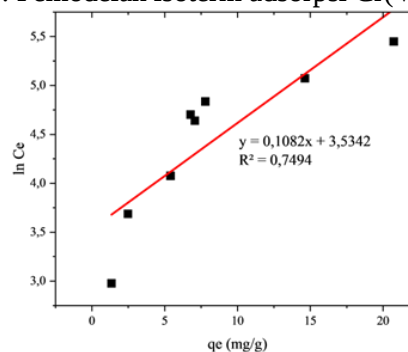
Isoterm adsorpsi merupakan aspek penting untuk dipelajari, yang dapat mengetahui mekanisme adsorpsi Cr(VI) pada permukaan adsorben zeolit alam teraktivasi. Kinetika adsorpsi dipelajari dengan menggunakan model Langmuir, Freundlich, dan Temkin.



Gambar 13. Pemodelan isoterm adsorpsi Cr(VI) Langmuir



Gambar 14. Pemodelan isoterm adsorpsi Cr(VI) Freundlich



Gambar 15. Pemodelan isoterm adsorpsi Cr(VI) Temkin

Tabel 2. Nilai parameter pemodelan isoterm adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi

Model Isoterm	Parameter
Langmuir	$R^2 = 0,9836$ $K_L = 0,0009 \text{ L/g}$ $q_{\max} = 0,0661 \text{ (mg/g)}$
Freundlich	$R^2 = 0,9621$ $K_F = 2,8099$ $N = 0,8921$
Temkin	$R^2 = 0,7494$ $K_T = 3,5342$ $\beta_1 = 0,1082$

Untuk mengetahui apakah proses adsorpsi terjadi secara menguntungkan atau tidak terhadap model Langmuir, maka dilakukan analisis dengan menghitung faktor pemisahannya (RL). Berdasarkan hasil perhitungan setiap variasi awal konsentrasi Cr(VI), diketahui nilai RL bervariasi dari 0,9826 hingga 0,8269. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi isoterm Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi bersifat menguntungkan.

Adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi terjadi melalui proses eksotermik dengan nilai entalpi nya sebesar -1737,55 J/mol atau -1,74 kJ/mol. Hasil ini menunjukkan adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi mengikuti sifat fisik.

KESIMPULAN

Adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi dipengaruhi oleh pH, dosis adsorben, waktu kontak, dan konsentrasi awal larutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi dipengaruhi oleh pH 2, dosis adsorben 0,20 g, waktu kontak 75 menit, dan konsentrasi awal larutan 300 ppm.

Hasil pemodelan kinetik menunjukkan bahwa adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi mengikuti model pseudo orde satu dengan korelasi koefisien $R^2 = 0,9423$; $k_1 = -0,0697 \text{ m}^{-1}$; dan $q_e = 0,3648 \text{ mg/g}$, ini menunjukkan setelah proses adsorpsi hanya sedikit situs aktif yang terdapat pada adsorben dan adsorpsi dikendalikan oleh proses difusi. Sedangkan pemodelan isoterm menunjukkan sesuai dengan model Langmuir dengan korelasi koefisien $R^2 = 0,9836$ dan adsorpsi maksimum $q_{\max} = 0,0661 \text{ mg/g}$, hasil ini menunjukkan bahwa adsorpsi terjadi secara monolayer karena permukaan adsorben mempunyai situs aktif adsorpsi yang homogen dari segi energi dan bersifat menguntungkan. Kemudian kajian termodinamika adsorpsi Cr(VI) menggunakan zeolit alam teraktivasi terjadi secara eksotermik dengan nilai entalpi sebesar -1,74 kJ/mol dan adsorpsi termasuk ke dalam fisisorpsi atau mengikuti sifat fisik.

Saran

Untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi Cr pada variasi dosis adsorben, diharapkan agar melakukan penimbangan adsorben dengan teliti agar tidak terjadi kekeliruan hasil yang diakibatkan oleh massa adsorben yang tidak akurat.

Terimakasih kepada Universitas Singaperbangsa Karawang yang telah memberikan dukungan terhadap penelitian ini melalui Hibah bersaing penelitian pemula dengan Nomor: 91/SP2H/UN64.10/LL/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, M. R., Salleh, N. M., Othman, M. H. D., Matsuura, T., Ali, M. H., Puteh, M. H., Ismail, A. F., Rahman, M. A., & Jaafar, J. (2018). The adsorptive removal of chromium (VI) in aqueous solution by novel natural zeolite based hollow fibre ceramic membrane. *Journal of Environmental Management*, 224, 252–262. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.043>
- Al Muttaqii, M., Birawidha, D. C., Isnugroho, K., Yamin, M., Hendronursito, Y., Istiqomah, A. D., & Dewangga, D. P. (2019). Pengaruh Aktivasi secara Kimia menggunakan Larutan Asam dan Basa terhadap Karakteristik Zeolit Alam. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 13(2), 266.

<https://doi.org/10.26578/jrti.v13i2.5577>

- Álvarez, A. M., Guerrón, D. B., & Montero Calderón, C. (2021a). Natural zeolite as a chromium VI removal agent in tannery effluents. *Heliyon*, 7(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07974>
- Álvarez, A. M., Guerrón, D. B., & Montero Calderón, C. (2021b). Natural zeolite as a chromium VI removal agent in tannery effluents. *Heliyon*, 7(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07974>
- Amutova, F., Jurjanz, S., Akhmetsadykov, N., Kazankapova, M., Razafitianamaharavo, A., Renard, A., Nurseitova, M., Konuspayeva, G., & Delannoy, M. (2023). Adsorption of organochlorinated pesticides: Adsorption kinetic and adsorption isotherm study. *Results in Engineering*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100823>
- Belviso, C., Lucini, P., Mancinelli, M., Abdolrahimi, M., Martucci, A., Peddis, D., Maraschi, F., Cavalcante, F., & Sturini, M. (2023). Lead, zinc, nickel and chromium ions removal from polluted waters using zeolite formed from bauxite, obsidian and their combination with red mud: Behaviour and mechanisms. *Journal of Cleaner Production*, 415. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137814>
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020a). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. In *Heliyon* (Vol. 6, Issue 9). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020b). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. In *Heliyon* (Vol. 6, Issue 9). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Curcio, G. M., Aucancela Rivera, E. G., Limonti, C., Andreoli, T., Sethi, R., & Siciliano, A. (2023). Removal of hexavalent chromium using zero-valent magnesium in a continuous flow system. *Journal of Water Process Engineering*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104494>
- Dehmani, Y., Ba Mohammed, B., Oukhrib, R., Dehbi, A., Lamhasni, T., Brahmi, Y., El-Kordy, A., Franco, D. S. P., Georgin, J., Lima, E. C., Alrashdi, A. A., Tijani, N., & Abouarnadasse, S. (2024). Adsorption of various inorganic and organic pollutants by natural and synthetic zeolites: A critical review. In *Arabian Journal of Chemistry* (Vol. 17, Issue 1). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105474>
- Hasan, M., Ta, H. Q., Ullah, S., Yang, X., Luo, J., Bachmatiuk, A., Gemming, T., Trzebicka, B., Mahmood, A., Zeng, M., Fu, L., Liu, L., & Rummeli, M. H. (2023). Crystal structure, synthesis and characterization of different chromium-based two-dimensional compounds. In *Arabian Journal of Chemistry* (Vol. 16, Issue 8). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104973>
- Hashem, Md. A., Mim, M. W., Noshin, N., & Maoya, M. (2024). Chromium adsorption capacity from tannery wastewater on thermally activated adsorbent derived from kitchen waste biomass. *Cleaner Water*, 1, 100001. <https://doi.org/10.1016/j.clwat.2023.100001>
- Mahmood Aljamali, N., & Obaid Alfatlawi, I. (2021). Physical and Chemical Adsorption and its Applications. <https://doi.org/10.37628/IJTCK>
- Mthombeni, N. H., Mbakop, S., Ray, S. C., Leswif, T., Ochieng, A., & Onyango, M. S. (2018). Highly efficient removal of chromium (VI) through adsorption and reduction: A column dynamic study using magnetized natural zeolite-polypyrrole composite. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4008–4017. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.05.038>
- Mumtaz, K., Iqbal, S., Shahida, S., Shafique, M. A., Wasim, M., & Ahmad, B. (2021). Synthesis and performance evaluation of diphenylcarbazine functionalized mesoporous silica for selective removal of Cr(VI). *Microporous and Mesoporous Materials*, 326. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2021.111361>
- Neolaka, Y. A. B., Kalla, E. B. S., Malelak, G. A., Rukman, N. K., Supriyanto, G., & Puspaningsih, N. N. T. (2018). Adsorption of methylene blue using acid activated green color natural zeolite from endeflores, Indonesia. *Rasayan Journal of Chemistry*, 11(2), 494–504. <https://doi.org/10.7324/RJC.2018.1121994>
- Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J., Riwi, A. A. P., Mango, A. W., Darmokoeseomo, H., Widyaningrum, B. A., Iqbal, M., & Kusuma, H. S. (2022). Efficiency of activated natural zeolite-based magnetic composite (ANZ-Fe₃O₄) as a novel adsorbent for removal of Cr(VI) from wastewater. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 2896–2909. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.03.153>
- Neolaka, Y. A. B., Supriyanto, G., Darmokoeseomo, H., & Kusuma, H. S. (2018). Characterization, isotherm, and thermodynamic data for selective adsorption of Cr(VI) from aqueous solution by Indonesia (Ende-Flores) natural zeolite Cr(VI)-imprinted-poly(4-VP-co-EGDMA)-ANZ (IIP-ANZ).

- Data in Brief, 17, 1020–1029. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.01.081>
- Neolaka, Y. A. B., Supriyanto, G., & Kusuma, H. S. (2018). Adsorption performance of Cr(VI)-imprinted poly(4-VP-co-MMA) supported on activated Indonesia (Ende-Flores) natural zeolite structure for Cr(VI) removal from aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 3436–3443. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.04.053>
- Philia, J., Widayat, W., Sulardjaka, S., Nugroho, G. A., & Darydzaki, A. N. (2023). Aluminum-based activation of natural zeolite for glycerol steam reforming. *Results in Engineering*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101247>
- Pinheiro, X. L., Oliveira, K., Santos, J., Girão, A. V., Bastos, A. C., Sousa, M., Baptista, D., Gomes, S., Lobo, R., Oliveira, P., Monteiro, A., Teixeira, J. P., Monteiro, M., Fernandes, P. A., Oliveira, F. J., & Salomé, P. M. P. (2024). The combination of electrodeposited chromium (III) and PVD as an industrial viable solution for the replacement of electrodeposited chromium (VI). *Process Safety and Environmental Protection*, 182, 727–739. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.12.018>
- Ragadhita, R., & Nandiyanto, A. B. D. (2021). How to calculate adsorption isotherms of particles using two-parameter monolayer adsorption models and equations. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 6(1), 205–234. <https://doi.org/10.17509/ijost.v6i1.32354>
- Rakhym, A. B., Seilkhanova, G. A., & Kurmanbayeva, T. S. (2020). Adsorption of lead (II) ions from water solutions with natural zeolite and chamotte clay. *Materials Today: Proceedings*, 31, 482–485. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.672>
- Ramraj, S. M., Kubaib, A., Imran, P. M., & Thirupathy, M. K. (2023). Utilizing Sida Acuta leaves for low-cost adsorption of chromium (VI) heavy metal with activated charcoal. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100338>
- Samadi Kazemi, M., & Sobhani, A. (2023). CuMn₂O₄/chitosan micro/nanocomposite: Green synthesis, methylene blue removal, and study of kinetic adsorption, adsorption isotherm experiments, mechanism and adsorbent capacity. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(6). <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104754>
- Sarwar, M. J., Shabaan, M., Asghar, H. N., Ayyub, M., Ali, Q., Zulfiqar, U., Nazim, M., Alarjani, K. M., & Elshikh, M. S. (2023). Interaction of chromium (Cr) resistant plant growth promoting rhizobacteria with compost to phytostabilize Cr in spinach rhizosphere. *Plant Stress*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100261>
- Senila, M., Coldea, T. E., Senila, L., Mudura, E., & Cadar, O. (2023). Activated natural zeolites for beer filtration: A pilot scale approach. *Heliyon*, 9(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20031>
- Side, S., Eka Putri, S., Eka Pratiwi, D., Rahma, A., & Rahman, A. (2023). The Effect of Acid Treatment on The Characteristics of Modernite Zeolite. *XII(2)*, 114–123. <http://ojs.unm.ac.id/index.php/sainsmat>
- Simoncic, P., & Armbruster, T. (2004). Peculiarity and defect structure of the natural and synthetic zeolite mordenite: A single-crystal X-ray study. In *American Mineralogist* (Vol. 89).
- Simonin, J.-P., & Whitaker, S. (2016). Intraparticle diffusion-adsorption model to describe liquid/solid adsorption kinetics Article in *Revista Mexicana de Ingeniería Química* · (Vol. 15, Issue 1). <https://www.researchgate.net/publication/299452729>
- Stiyati Prihatini, N., & Syauqiah, I. (2017). EFFECT OF VARIATION OF pH AND ADSORBENT WEIGHT IN Cr TOTAL REDUCTION IN ARTIFICIALLY WASTE USING TEA LEAVES DREGS ADSORBENTS. In *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan* (Vol. 3, Issue 1).
- Velarde, L., Nabavi, M. S., Escalera, E., Antti, M. L., & Akhtar, F. (2023). Adsorption of heavy metals on natural zeolites: A review. In *Chemosphere* (Vol. 328). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138508>
- Wang, J., & Guo, X. (2020a). Adsorption isotherm models: Classification, physical meaning, application and solving method. In *Chemosphere* (Vol. 258). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127279>
- Wang, J., & Guo, X. (2020b). Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications, and solving methods. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 390). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122156>
- Wang, S., & Peng, Y. (2010). Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 156, Issue 1, pp. 11–24). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.10.029>

- Windy Dwiasi, D., Kartika Program Studi Kimia, D., & Mipa, J. (n.d.). SPESIASI Cr(III) DAN Cr(VI) PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI ELEKTROPLATING.
- Zeng, Y., Woo, H., Lee, G., & Park, J. (2010). Adsorption of Cr(VI) on hexadecylpyridinium bromide (HDPB) modified natural zeolites. *Microporous and Mesoporous Materials*, 130(1–3), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2009.10.016>.