

Modifikasi Zeolit Alam menggunakan Trietanolamin (TEA) sebagai Adsorben Ion Logam Kromium (III)

Qomaruzzaman, I.¹; Sriatun^{1*}; Suhartana¹

¹Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudharto SH, Tembalang, Semarang 50275

Abstract

In this research, a modification of natural zeolites with triethanolamine (ZM-TEA) has been carried out to adsorb chromium (Cr) (III) metal ions. The natural zeolites sample is activated with acid, then reacted with triethanolamine. The ZM-TEA products were characterized using FTIR and Gas Sorption Analyzer (GSA). The adsorption of Cr (III) metal ions by ZM-TEA was studied at various pH and concentrations. Determination of concentration using a UV-Vis spectrometer. FTIR data showed that the wavenumber 1404 cm⁻¹ is the amine group and 2839-2932 cm⁻¹ is -CH₂ asymmetry stretching vibration and symmetry of triethanolamine., The surface area, volume and pore diameter of ZM-TEA decreased. The adsorption data showed an optimum at pH 5 and concentration of chromium (III) metal ions of 1500 ppm. The adsorption ability of triethanolamine modified zeolites is better than natural zeolites, namely for natural zeolites, ZM-TEA 5%, ZM-TEA 10%, ZM-TEA 15% respectively 41.38%, 66.13%, 57, 38%, and 46.5% respectively.

Keywords: Tulungagung Mineral Sand, Leaching, Titanium Dioxide Anatase.

Abstrak

Pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi zeolit alam dengan trietanolamin (ZM-TEA) untuk mengadsorpsi ion logam kromium (Cr) (III). Sampel zeolit alam diaktivasi dengan asam, kemudian direaksikan dengan trietanolamin. Produk ZM-TEA dikarakterisasi menggunakan FTIR dan Gas Sorption Analyzer (GSA). Adsorpsi ion logam Cr (III) oleh ZM-TEA dikaji pada berbagai pH dan konsentrasi. Penentuan konsentrasi menggunakan spektrometer UV-Vis. Data FTIR menunjukkan bilangan gelombang 1404 cm⁻¹ adalah obligasi amina dan 2839-2932 cm⁻¹ vibrasi ulur asimetri dan simetri -CH₂ dari trietanolamin. Pada ZM-TEA mengalami penurunan luas permukaan, volume dan diameter pori. Data adsorpsi menunjukkan optimum pada pH 5 dan konsentrasi ion logam kromium 1500 ppm. Kemampuan adsorpsi zeolit termodifikasi trietanolamin lebih baik dari pada zeolit alam, yaitu untuk zeolit alam, ZM-TEA 5%, ZM-TEA 10%, ZM-TEA 15% berturut-turut adalah 41,38%, 66,12%, 57,37%, dan 46,5%.

Kata kunci: zeolit, trietanolamin, adsorpsi, ion logam Cr (III)

1. Pendahuluan

Zeolit merupakan kristal mikropori tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ yang terhubung oleh atom oksigen sedemikian rupa, sehingga membentuk kerangka anionik tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga. Zeolit alam bermuatan negatif yang diseimbangkan oleh kation-kation, biasanya adalah logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas [1]. Zeolit alam masih banyak tercampur dengan materi pengotor (impurities) yang dapat menutupi pori atau situs aktif zeolit. Oleh karena itu, zeolit alam perlu diaktivasi dan dimodifikasi guna meningkatkan karakternya terutama aktivitas adsorpsi. Proses modifikasi biasanya dilakukan melalui pertukaran kation, dealuminasi, dan substitusi isomorfosis.

Zeolit dapat dimodifikasi dengan surfaktan, salah satunya dengan trietanolamin. Trietanolamin memiliki gugus aktif yang mudah membentuk senyawa koordinasi dengan hampir semua ion logam dan berperilaku sebagai ligan donor N dan O [2]. Menurut Koteja dan Jakub [3] trietanolamin mampu berikatan dengan kaolinit yang memiliki struktur hampir sama dengan zeolit yaitu aluminio silikat sehingga diharapkan zeolit dapat berikatan dengan trietanolamin. Selain itu, molekul amin dan alkohol pada

trietanolamin mudah membentuk kompleks dengan ion logam yang berperilaku sebagai agen pengompleks.

Logam kromium merupakan logam berat yang pada kondisi anaerob, pH, dan potensial redoks akan berada pada kondisi trivalen dan hexavalen yang beracun, korosif, dan biasanya ditemukan pada limbah elektroplating, limbah penyamakan kulit. Kromium (III) merupakan oksidan kuat pada pH rendah atau netral [4]. Selain itu, kromium (III) memberikan kompleks yang kuat dengan oksigen yang diklasifikasikan sebagai asam keras [5]. Kromium (III) merupakan asam keras karena kation Cr (III) mempunyai densitas muatan yang tinggi, tidak terpolarisasi, ukuran kationnya kecil dan biasanya membentuk ikatan ionik. Sifat asam keras lebih menyukai berinteraksi dengan basa keras seperti oksigen, sehingga senyawanya mudah ditemukan sebagai kromium oksida maupun hidroksidanya. Meskipun kromium (III) relatif stabil dan kurang toksik dibanding kromium (VI), namun karena kelarutannya dalam air serta dapat terendapkan sebagai lumpur [6] maka semakin lama akan terakumulasi dengan konsentrasi tinggi. Keadaan ini dapat menimbulkan masalah kesehatan.

Sampai saat ini, berbagai metode fisika-kimia telah dikembangkan untuk menghilangkan logam berat seperti

presipitasi, membran, pertukaran ion, elektrolisis dan pendekatan oksidasi-reduksi [7] termasuk proses abiotik dan anabiotik menggunakan mikroba [8]. Namun metode-metode tersebut memerlukan biaya mahal dan hasil pengolahannya dapat menghasilkan limbah padat dalam jumlah besar [7]. Metode adsorpsi menggunakan bahan alam seperti zeolit alam untuk menangani limbah logam berat merupakan metode alternatif yang efektif, sederhana dan murah.

Kajian penelitian tentang penggunaan zeolit alam sebagai adsorben logam berat telah dilakukan. Faghihian dan Esfahani [9] memodifikasi β -zeolit menggunakan Etilendiamin dan Monoetanolamin (MEA) sebagai *adsorben* ion Pb (II). Koteja dan Jakub [3] melakukan penelitian dengan menambahkan Dietanolamin dan Trietanolamin pada kaolinit yang kemudian digunakan sebagai adsorben beberapa logam berat diantaranya Cd (II), Zn (II), Pb (II), dan Cu (II). Idris dkk. [10] melakukan modifikasi mesopori silika menggunakan amina *3-aminopropyltrimethoxy-silane* dan Dietilentriamin yang digunakan sebagai adsorben selektif spesies kromium dalam air limbah. Penelitian tersebut membandingkan variasi pH dan konsentrasi larutan. Hasil penelitian tersebut lebih banyak menjelaskan bahwa adsorben lebih baik dalam mengadsorpsi kromium (VI) dibanding

dengan kromium (III) dalam larutan. Sementara itu Zhang dkk. [11] mengatakan bahwa chitosan/trietanolamin/Cu (II) sangat potensial untuk mengadsorpsi Cr (VI). Adsorpsi logam berat lainnya juga telah dilakukan menggunakan adsorben dari β -zeolit [12].

Sinergi adsorpsi, reduksi dan transformasi pada penghilangan kromium (VI) dan kromium (III) juga dilakukan dengan biochar [13]. Adsorpsi Cr (III) dan Co (II) telah dilakukan oleh Deravanesiyan dkk [14] menggunakan zeolit NaX yang dimodifikasi dengan nanopartikel alumina. Modifikasi pada MCM-41, zeolit Na-Y, dan zeolit 13X dengan menambahkan monoetanolamin (MEA), dietanolamin (DEA), dan trietanolamin (TEA) dengan metode grafted telah digunakan sebagai adsorben CO₂ [15].

Berdasarkan uraian tentang kemampuan zeolit sebagai adsorben yang baik, maka dalam penelitian ini dilakukan modifikasi zeolit alam Bayat, Klaten Jawa Tengah menggunakan trietanolamin sebagai adsorben ion logam kromium (Cr) (III). Telah diketahui bahwa asupan kromium (III) yang berlebihan dapat menekan sistem kekebalan dan dapat menyebabkan nekrosis melalui interaksi dengan mikrofilamen, mitokondria, lisosom dan nukleolus [7]. Kontak dengan kromium (III) dalam waktu

lama akan menimbulkan alergi kulit bahkan kanker yang lebih parah. Oleh karena itu perlu upaya untuk menurunkan atau mengurangi konsentrasi kromium (III) tersebut. Untuk pemilihan trietanolamin (TEA) sebagai bahan yang ditambahkan pada zeolit, karena mempunyai atom donor lebih banyak yaitu tiga atom oksigen dan satu atom nitrogen sehingga diharapkan dapat menyerap ion kromium (III) secara maksimal.

2. Metode Penelitian

2.1 Material

Zeolit alam Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten, Akuades, Trietanolamin ($N(C_2H_4OH)_3$) (99,8%) Merck, Asam Florida (HF) 48% Merck, Asam klorida (HCl) 37% Merck, $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ 98% Merck.

2.2 Peralatan dan Instrument

Gelas kimia, pipet tetes, neraca analitis Ohaus, ayakan 100 *mesh*, oven Binder, *pH indicator* Merck, *shaker MaxQ* 2000, spektrofotometer FTIR Shimadzu, *Gas Sorption Analyzer (GSA) Quantachrome NovaWin* version 11.0, dan Spektrometer UV-Vis Perkin Elmer.

2.3 Prosedur

Aktivasi Zeolit Alam

Batuan Zeolit Alam dengan akuades kemudian ditumbuk hingga halus. Zeolit yang sudah halus diayak ukuran 100 mesh. Zeolit lolos ayak kemudian direndam dengan HF 1% selama 10 menit dan dicuci akuades sampai pH netral. Zeolit yang sudah netral kemudian direndam lagi dengan HCl 1M selama 30 menit dan dicuci menggunakan akuades sampai pH netral.

Modifikasi Zeolit dengan Trietanolamin

Metode modifikasi zeolit alam dengan trietanolamin mengacu pada Esfahani dan Faghihian [9]. Zeolit aktivasi asam dicampur dengan larutan trietanolamin, perbandingan zeolit:etanolamin adalah 1:12 (b/v) kemudian direfluks selama 36 jam. Konsentrasi larutan trietanolamin bervariasi yaitu 5%, 10%, dan 15% (v/v) dalam metanol. Trietanolamin dapat larut dengan baik dalam pelarut tersebut. Zeolit hasil modifikasi dengan trietanolamin disebut ZM-TEA. Zeolit alam termodifikasi trietanolamin dikarakterisasi menggunakan FTIR dan *Gas sorption analyzer (GSA)*, masing-masing untuk mengetahui gugus fungsi dan mengetahui luas permukaan, volume serta diameter pori.

Adsorpsi Ion Logam Kromium (III)

Variasi pH

Metode adsorpsi menggunakan sistim batch mengacu pada Nurianingsih [16]. Sebanyak 5 buah Erlenmeyer kecil disiapkan, masing-masing diisi larutan kromium (III) 1000 ppm sebanyak 10 mL. Kemudian masing-masing larutan tersebut dikondisikan pH agar sama dengan 2, 3, 4, 5, dan 6. Sebanyak 0,1 g zeolit alam ditambahkan ke dalam larutan tersebut. Selanjutnya campuran diaduk menggunakan shaker selama 60 menit karena diasumsikan dalam waktu 60 menit adsorpsi telah maksimal. Filtrat dianalisis menggunakan spektrometer UV-Vis. Prosedur yang sama dilakukan dengan adsorben zeolit hasil modifikasi trietanolamin (ZM-TEA 5%, 10%, dan 15%).

Adsorpsi Ion Logam Kromium (III)

Prosedur adsorpsi pada variasi konsentrasi juga menggunakan sistim batch yang mengacu pada Nurianingsih [16]. Sebanyak 5 buah Erlenmeyer kecil disiapkan, masing-masing diisi 10 mL larutan kromium (III) 750 ppm, 1000 ppm, 1500 ppm, 2000 ppm dan 2000 ppm. Kemudian masing-masing larutan dikondisikan pHnya agar sama dengan pH optimum yang diperoleh dari tahap sebelumnya. Sebanyak 0,1 g zeolit alam ditambahkan ke dalam larutan tersebut. Selanjutnya campuran diaduk menggunakan shaker selama 60 menit agar terjadi adsorpsi maksimal. Filtrat dianalisis menggunakan

spektrometer UV-Vis. Prosedur yang sama dilakukan dengan adsorben zeolit hasil modifikasi trietanolamin (ZM-TEA 5%, 10%, dan 15%).

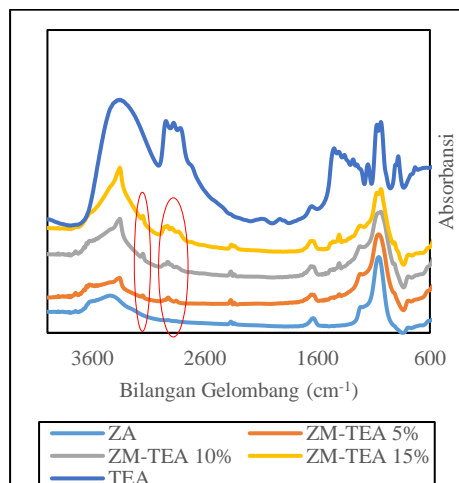
3. Hasil dan pembahasan

Aktivasi Zeolit

Aktivasi zeolit bertujuan untuk membersihkan zeolit dari pengotor-pengotornya. Zeolit alam direndam dengan HF 1% selama 10 menit kemudian disaring dan dicuci dengan akuades, tujuannya untuk membersihkan zeolit dari oksida-oksida pengotor dan agar permukaan dari zeolit terbuka. Zeolit kemudian direndam lagi dengan HCl 1M untuk membersihkan kation-kation penyeimbang dari zeolit sehingga terbentuk zeolit-H.

Modifikasi Zeolit dengan Trietanolamin

Zeolit alam yang sudah diaktivasi dengan asam, kemudian ditambahkan larutan trietanolamin dalam pelarut metanol dengan konsentrasi 5%, 10%, 15% (v/v) dan perbandingan zeolit dengan trietanolamin 1:12 (b/v). Warna zeolit alam yang tadinya putih kehijauan berubah menjadi kekuningan setelah dimodifikasi dengan trietanolamin menunjukkan telah terjadi interaksi zeolit dengan trietanolamin menghasilkan ZM-TEA.



Gambar 1. Spektra FTIR zeolit alam dan zeolit hasil modifikasi (ZM-TEA)

Hasil Karakterisasi FTIR

Metode yang cukup penting untuk mengkarakterisasi struktur kerangka zeolit dan mengetahui pengaruh penambahan trietanolamin adalah dengan analisis Fourier Transformation-InfraRed (FTIR).

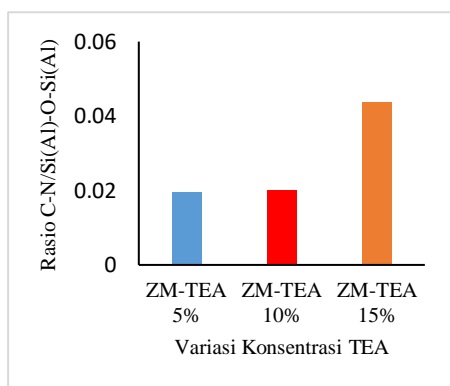
Pada Gambar 1 terdapat puncak baru pada zeolit hasil modifikasi (ZM-TEA) akibat adanya penambahan trietanolamin yaitu pada bilangan gelombang 1404 cm⁻¹ dan 2839-2932 cm⁻¹. Menurut Calabrese dkk. [17] penyerapan pada bilangan gelombang sekitar 1400 cm⁻¹ dapat dikaitkan dengan obligasi amina dari molekul trietanolamin (TEA) yang ditambahkan dalam sintesis zeolit sebagai agen pengompleks. Selain itu, pada daerah bilangan gelombang 1350-1580 cm⁻¹ merupakan daerah etanolamin pada beberapa adsorben [15]. Lin dkk. [18] juga

menyebutkan bahwa pada rentang 2800-3000 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur asimetris CH₂ (2931,80 dan 2924,09 cm⁻¹) dan vibrasi ulur simetris CH₂ (2839,22 dan 2854,65 cm⁻¹).

Data pada Gambar 1 menunjukkan spektra FTIR zeolit alam dan ZM-TEA memiliki kesamaan pola spektra. Hal ini memberikan makna bahwa penambahan trietanolamin tidak mengubah struktur asli zeolit, sehingga dapat disimpulkan interaksi yang terjadi antara zeolit alam dan trietanolamin adalah interaksi fisik saja.

Uraian tentang spektra FTIR di atas merupakan analisis kualitatif yaitu menjelaskan adanya serapan gugus fungsi Si-O-Si, Si-OH dan C-N dari trietanolamin. Di samping analisis kualitatif, diperlukan adanya analisis secara kuantitatif untuk mengetahui besarnya intensitas perubahan absorbansi gugus yang dicari. Analisis kuantitatif dilakukan dengan software fityx. Software fityx merupakan suatu program data proses dan fitting kurva nonlinier, sehingga diperoleh informasi perbedaan komposisi. Biasanya terjadi pada vibrasi di daerah yang tumpang tindih. Perbedaan komposisi ditentukan dengan mengukur intensitas absorbansi yang berhubungan dengan jenis gugus kimia yang diukur. Penambahan trietanolamin ke dalam zeolit ditentukan dengan membandingkan luas area

puncak zeolit dan puncak ZM-TEA. Bilangan gelombang yang dibandingkan yaitu pada $1079,52 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan puncak dari trietanolamin dan $1033,97 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan puncak zeolit. Hasil perbandingan luas area dua puncak akibat penambahan trietanolamin pada zeolit dapat diamati pada Gambar 2.



Gambar 2. Rasio antara C-N dengan Si(Al)-O-Si(Al)

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi trietanolamin yang ditambahkan pada zeolit maka jumlah trietanolamin yang masuk ke dalam zeolit akan semakin tinggi. Pertambahan trietanolamin pada ZM-TEA 5% dan ZM-TEA 10% tidak signifikan yaitu dari 0,0195-0,0202. Hal ini dimungkinkan trietanolamin hanya masuk dalam beberapa pori kemudian permukaannya tertutupi oleh trietanolamin. Pertambahan trietanolamin pada ZM-TEA 15% cukup signifikan yaitu 0,0436, kemungkinan jumlah trietanolamin yang

sudah jenuh sehingga menutupi pori-pori dan permukaan zeolit.

Berdasarkan karakterisasi GSA diketahui luas permukaan, volume dan diameter pori zeolit alam dan zeolit hasil modifikasi trietanolamin (ZM-TEA). Karakterisasi menggunakan GSA hanya dilakukan pada sampel zeolit alam, ZM-TEA 5%, dan ZM-TEA 10%. ZM-TEA 15% tidak dikarakterisasi karena menurut Lima dkk. [19] pada konsentrasi lebih dari 12% (b/b) akan menghalangi adsorpsi molekul CO_2 . Hasil karakterisasi GSA berdasarkan metode BJH disajikan pada Tabel 1. Adanya penambahan trietanolamin sebanyak 5% dapat meningkatkan luas permukaan, volume dan diameter pori secara berturut turut dari $36,66 \text{ m}^2/\text{g}$; $0,118 \text{ cc/g}$; dan $3,44 \text{ nm}$ untuk zeolit alam menjadi $48,599 \text{ m}^2/\text{g}$; $1,041 \text{ cc/g}$; dan $84,045 \text{ nm}$. Sedangkan pada penambahan trietanolamin 10% luas permukaan turun menjadi $26,902 \text{ m}^2/\text{g}$, volume pori $0,585 \text{ cc/g}$ dan diameter pori $88,993 \text{ nm}$. Penurunan luas permukaan setelah penambahan trietanolamin dalam jumlah besar dikarenakan sebagian pori telah terisi oleh trietanolamin. Ukuran pori meningkat signifikan setelah adanya trietanolamin, hal ini menunjukkan bahwa trietanolamin membantu membersihkan pori-pori zeolit sehingga lebih terbuka.

	Luas Permukaan (m ² /g)	Total Volume pori (cc/g)	Diameter Pori Rata-rata (nm)
ZA	36,66	0,118	3,444
ZM			
- TE A 5% ZM	48,599	1,041	84,045
- TE A 10 %	26,902	0,585	88,994

Tabel 1. Data luas permukaan, volume dan diameter pori berdasarkan metode BJH

Interaksi trietanolamin dengan zeolit dapat dianalogikan dengan ulasan interaksi trietanolamin dengan kitosan oleh Zhang dkk. [11], dimana atom-atom hidrogen yang terikat pada gugus hidroksil dan amin berinteraksi melalui ikatan hidrogen. Zeolit alam umumnya mempunyai rasio Si/Al rendah sehingga bersifat hidrofilik, setelah teraktivasi oleh asam menghasilkan zeolit-H. Dengan demikian pada permukaan zeolit terdapat gugus hidroksil yang terikat pada Si terminal atau sebagai gugus silanol (-Si-OH), sedangkan pada bagian kerangka mempunyai atom oksigen sebagai jembatan yang menghubungkan Si dan Al (Si-O-Al). Selain

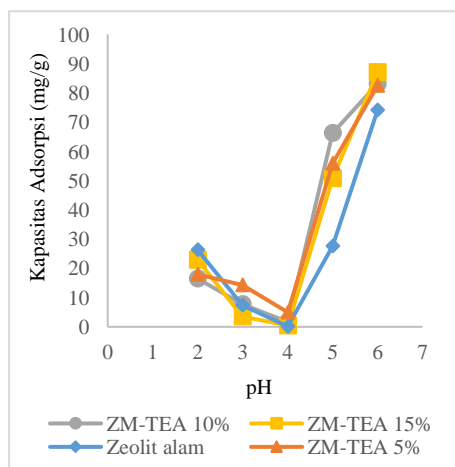
itu pada kerangka zeolit juga mengandung H⁺ sebagai kation penyeimbang. Karakter-karakter tersebut menjadikan zeolit dapat berinteraksi dengan trietanolamin melalui bagian etanol nya (-C₂H₅OH) untuk membentuk ikatan hidrogen.

Penambahan trietanolamin akan menurunkan luas permukaan secara substansional, karena ukuran molekul trietanolamin kecil sehingga lebih mudah untuk masuk ke dalam saluran pori-pori dari zeolit dan luas permukaan yang lebih tinggi tidak selalu berarti kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi [15]. Hal tersebut juga diperkuat dengan hasil dari aplikasi fityk yang membandingkan luas area dua puncak antara trietanolamin dengan zeolit, menunjukkan semakin tinggi konsentrasi dari trietanolamin maka trietanolamin yang masuk ke dalam zeolit semakin banyak.

Pengaruh pH pada Kemampuan Adsorpsi terhadap Ion Logam Kromium (III)

Tujuan perlakuan ini yaitu untuk mendapatkan pH optimum adsorbat yang mampu diserap oleh zeolit hasil modifikasi trietanolamin (ZM-TEA). Hasil uji adsorpsi zeolit alam dan zeolit hasil modifikasi pada variasi pH ion logam kromium (III) disajikan pada Gambar 3.

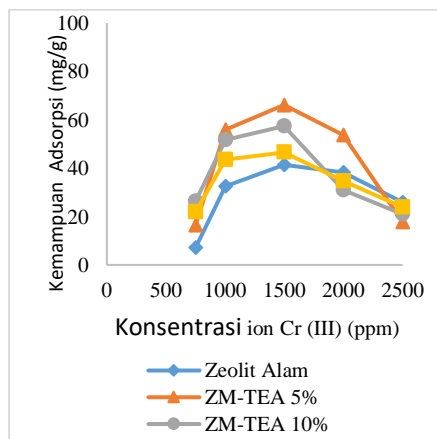
Gambar 3 menunjukkan adsorpsi ion logam kromium (III) oleh zeolit alam dan zeolit hasil modifikasi (ZM-TEA) mencapai optimum pada pH 5. Kemampuan adsorpsi pada pH 5 untuk zeolit alam, ZM-TEA 5%; ZM-TEA 10%, dan ZM-TEA 15% berturut turut adalah 27,59%; 55,95%; 66,21%, dan 50,82%. Data ini selaras dengan data luas permukaan yang telah diuraikan sebelumnya. Sebenarnya adsorpsi optimum pada pH 6 tetapi pada pH tersebut senyawa $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sudah mulai mengendap. Nilai K_{sp} $\text{Cr}(\text{OH})_3$ adalah 1×10^{-30} sehingga berdasarkan perhitungan tersebut ion kromium(III) akan mengendap pada $\text{pH} > 5,38$ [20]. Hal tersebut menunjukkan bahwa variasi pH mempengaruhi jumlah ion logam yang dapat teradsorpsi oleh adsorben.



Gambar 3. Hubungan antara pH kromium (III) dengan kapasitas adsorpsi

Menurut Esfahani dan Faghihian [9], pada pH 2-4 adsorpsi terhadap ion kromium (III) rendah. Larutan CrCl_3 cenderung asam dan terdapat kompetisi dengan ion H^+ sehingga adsorpsinya rendah. Hal ini didukung oleh penelitian Jumina dkk. [21] bahwa pada pH rendah spesies kromium (III) eksis sebagai Cr^{3+} . Dimana pada kondisi ini tidak cukup terprotonasi sehingga sulit terjadi adsorpsi terhadap ion kromium tersebut. Pada pH 4-5 terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi karena ketika pH meningkat keseimbangan antara H_3O^+ dan OH^- kurang lebih sama. Oleh karena itu ion logam bermuatan positif lebih banyak dalam larutan yang teradsorpsi pada permukaan negatif dan dengan demikian adsorpsi ion logam meningkat [9].

Proses adsorpsi kromium (III) dari senyawa $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ terjadi perubahan warna. Hal ini dikarenakan kromium (III) merupakan senyawa yang sangat sensitif terhadap pH, misalnya jika larutan logam kromium (III) pada kondisi asam dengan $\text{pH} < 2$ maka akan terlihat transformasi warna dari hijau ke hijau muda, ketika pH 4 menjadi hijau tua, dan ketika pH 5-6 warnanya semakin biru keruh. Warna biru pucat ini adalah warna khas dari $[\text{Cr}(\text{OH})_2]_6(\text{Cl})_3$, Warna $[\text{CrCl}_2(\text{OH})_4](\text{Cl}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ akan menjadi hijau tua, dan $[\text{CrCl}_2(\text{OH})_5](\text{Cl}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ berwarna hijau muda sampai biru.



Gambar 4. Hubungan antara konsentrasi ion kromium (III) dengan kemampuan adsorpsi

Pengaruh konsentrasi pada Kemampuan Adsorpsi terhadap Ion Logam Kromium (III)

Tujuan perlakuan ini yaitu untuk mendapatkan konsentrasi optimum dari larutan logam kromium (III) yang dapat diadsorpsi oleh zeolit alam dan zeolit hasil modifikasi trietanolamin (ZM-TEA). Hasil uji adsorpsi zeolit alam dan zeolit hasil modifikasi pada variasi konsentrasi ion logam kromium (III) terlihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan adsorpsi ion logam kromium (III) oleh zeolit alam dan zeolit hasil modifikasi trietanolamin (ZM-TEA) pada berbagai konsentrasi ion kromium (III). Pada konsentrasi ion kromium (III) 750 ppm, 1000 ppm, 1500 ppm, 2000 ppm dan 2500 ppm, konsentrasi optimum yang teradsorpsi adalah pada 1500 ppm. Adsorpsi ion kromium (III) pada konsentrasi

di atas 1500 ppm oleh zeolit alam maupun ZM-TEA cenderung turun. Situs aktif pada zeolit alam dan zeolit hasil modifikasi trietanolamin (ZM-TEA) pada konsentrasi tinggi telah jenuh oleh ion logam kromium (III) tersebut, sehingga kapasitas adsorpsinya cenderung menurun. Kemungkinan lain adalah telah terjadi desorpsi atau pelepasan kembali ion yang telah berikatan dengan gugus aktif dari adsorben.

Menurut Taffarel dan Rubio [22], penambahan surfaktan kationik dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi. Surfaktan dapat berinteraksi pada permukaan zeolit. Data pada Gambar 4 menunjukkan kemampuan adsorpsi zeolit termodifikasi trietanolamin (ZM-TEA) lebih tinggi dibandingkan zeolit alam. Besarnya kemampuan adsorpsi pada konsentrasi ion kromium (III) 1500 ppm untuk zeolit alam, ZM-TEA 5%, ZM-TEA 10% dan ZM-TEA 15% berturut-turut 41,38%; 66,13%; 57,38%; dan 46,5%. Peningkatan kemampuan adsorpsi menunjukkan adanya peran trietanolamin dalam proses adsorpsi. Trietanolamin mampu berinteraksi elektrostatik pada permukaan zeolit yang bermuatan negatif sehingga kapasitas adsorpsi meningkat. Interaksi yang terjadi antara trietanolamin dan zeolit merupakan interaksi fisik yaitu trietanolamin akan

menempel pada permukaan zeolit yang bermuatan negatif karena adanya pertukaran kation yang terjadi antara kation H^+ yang terdapat pada zeolit aktivasi dengan kation yang terdapat pada surfaktan trietanolamin (N^+) seperti ikatan hidrogen.

Konsentrasi optimum dapat tercapai karena situs aktif yang terdapat pada adsorben telah jenuh sehingga pada saat penambahan adsorbat berikutnya menjadi menurun maupun konstan. Hal ini terjadi karena proses adsorpsi yang terjadi melalui suatu interaksi elektrostatik antara muatan positif yang terdapat pada kromium (III) dengan muatan negatif dari trietanolamin (gugus O), sehingga yang paling menentukan gugus paling luar yaitu gugus O dari trietanolamin karena zeolit dan trietanolamin telah membentuk suatu layer pada permukaan luar zeolit. Karena adanya tarikan antara muatan gugus paling luar maka pada konsentrasi ion logam kromium (III) rendah menyebabkan kemampuan adsorpsinya semakin mudah. Adsorpsi lebih mudah terjadi karena hanya memerlukan energi yang kecil.

Menurut teori HSAB atau Hard Soft Acids and Base asam digolongkan dalam tiga kategori yaitu asam keras, sedang, dan asam lunak, demikian juga basa digolongkan dalam tiga kategori basa keras, sedang dan

basa lunak. Suatu asam keras lebih menyukai berinteraksi dengan basa keras, asam lunak dengan basa lunak, dan asam sedang dengan basa sedang. Pada penelitian ini diketahui bahwa pada permukaan ZM-TEA mengandung gugus OH- dan atom N dari trietanolamin yang merupakan suatu basa keras. Ion logam kromium (III) merupakan asam keras sehingga diharapkan dapat berinteraksi dengan baik terhadap ZM-TEA. Dengan demikian kemampuan adsorpsi ZM-TEA lebih tinggi daripada zeolit alam.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa dalam penelitian ini telah diperoleh zeolit termodifikasi trietanolamin (ZM-TEA). Hasil uji kemampuan adsorpsi terhadap ion logam kromium (III) pada variasi pH (2, 3, 4, 5, 6,) dan konsentrasi ion kromium (III) (750, 1000, 1500, 2000 dan 2500 ppm) menunjukkan hasil optimum pada pH 5 dan konsentrasi 1500 ppm. Kemampuan adsorpsi zeolit termodifikasi trietanolamin lebih baik dari pada zeolit alam, yaitu untuk zeolit alam, ZM-TEA 5%, ZM-TEA 10%, ZM-TEA 15% berturut-turut adalah 41,38%, 66,13%, 57,38%, dan 46,5%.

Daftar Pustaka

1. R. Xu, W. Pang, J. Yu, Q. Huo, and J. Chen. 2007. Chemistry of Zeolites and

- Related Porous Materials: Synthesis and Structure. Singapore.
2. K. Majid, R. Mushtaq, and S. Ahmad. 2008. Synthesis, Characterization and Coordinating Behaviour of Aminoalcohol Complexes with Transition Metals. *E-Journal Chem.*, vol. 5, p. 680324. doi: 10.1155/2008/680324.
 3. A. Koteja and J. Matusik. 2015. Di- and triethanolamine grafted kaolinites of different structural order as adsorbents of heavy metals. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.05.027>.
 4. N. H. Mthombeni, M. S. Onyango, and O. Aoyi. 2015. Adsorption of hexavalent chromium onto magnetic natural zeolite-polymer composite. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 50, pp. 242–251. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.12.037>.
 5. M. Gürü, D. Venedik, and A. Murathan. 2008. Removal of trivalent chromium from water using low-cost natural diatomite. *J. Hazard. Mater.*, vol. 160, no. 2–3, p. 318–323. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.03.002.
 6. J. Ding, L. Pu, Y. Wang, B. Wu, A. Yu, X. Zhang, B. Pan, Q. Zhang, G. Gao. 2018. Adsorption and Reduction of Cr(VI) Together with Cr(III) Sequestration by Polyaniline Confined in Pores of Polystyrene Beads,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 52, no. 21, pp. 12602–12611. doi: 10.1021/acs.est.8b02566.
 7. M. Xia, C. Ye, K. Pi, D. Liu, and A. R. Gerson. 2018. Cr(III) removal from simulated solution using hydrous magnesium oxide coated fly ash: Optimization by response surface methodology (RSM). *Chinese J. Chem. Eng.*, vol. 26, no. 5, pp. 1192–1199. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2017.11.008>.
 8. B. Reyes-Romero, A.N. Gutiérrez-López, R. Hernández-Altamirano, V.Y. Mena-Cervantes, E. Ruiz-Baca, E.E. Neri-Torres, I. Chairez, S.M. García-Solares, J. Vazquez-Arenas. 2020. Removal of concentrated Cr(III) from real tannery wastewater using abiotic and anaerobic processes with isolated microbial consortia. *J. Environ. Chem. Eng.*, p. 104626. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104626>.
 9. S. Motlagh Bahadory Esfahani and H. Faghihian. 2014. Modification of synthesized β -zeolite by ethylenediamine and monoethanolamine for adsorption of Pb²⁺. *J. Water Process Eng.*, vol. 3, pp.

- 62–66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2014.05.007>.
10. S. A. Idris, K. Alotaibi, T. A. Peshkur, P. Anderson, and L. T. Gibson. 2012. Preconcentration and selective extraction of chromium species in water samples using amino modified mesoporous silica. *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 386, no. 1, pp. 344–349. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.07.040>.
 11. L. Zhang, C. Mu, L. Zhong, J. Xue, Y. Zhou, and X. Han. 2019. Recycling of Cr (VI) from weak alkaline aqueous media using a chitosan/triethanolamine/Cu (II) composite adsorbent. *Carbohydr. Polym.*, vol. 205, pp. 151–158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.004>.
 12. L. Pratti, G. Reis, F. Santos, G. Gonçalves, J. Freitas, and M. Pietre. 2019. Effects of textural and chemical properties of β -zeolites on their performance as adsorbents for heavy metals removal. *Environ. Earth Sci.*, vol. 78. doi: 10.1007/s12665-019-8568-6.
 13. Y. Qiu, Q. Zhang, B. Ga, M. Li, Z. Fan, W. Sang, H. Hao, X. Wei. 2020. Removal mechanisms of Cr(VI) and Cr(III) by biochar supported nanosized zero-valent iron: Synergy of adsorption, reduction and transformation. *Environ. Pollut.*, vol. 265, p. 115018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115018>.
 14. M. Deravanesiyan, M. Beheshti, and A. Malekpour. 2015. Alumina nanoparticles immobilization onto the NaX zeolite and the removal of Cr (III) and Co (II) ions from aqueous solutions. *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 21, pp. 580–586. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.03.023>.
 15. K. Sozana and H. Mat. 2020. Synthesis And Modification Of Micro And Mesoporous Materials As CO2 Adsorbent.
 16. R. Nurianingsih, S. Sriatun, and A. Darmawan. 2019. Polyaniline Modified Natural Zeolite as Adsorbent for Chromium(III) Metal Ion. *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 22, no. 6, pp. 292–298. doi: 10.14710/jksa.22.6.292-298.
 17. L. Calabrese, L. Bonaccorsi, D. Di Pietro, and E. Proverbio. 2014. Effect of process parameters on behaviour of zeolite coatings obtained by hydrothermal direct synthesis on aluminium support. *Ceram. Int.*, vol.

- 40, pp. 12837–12845. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103971>.
18. J. Lin, Y. Zhan, Z. Zhu, and Y. Xing. 2011. Adsorption of tannic acid from aqueous solution onto surfactant-modified zeolite. *J. Hazard. Mater.*, vol. 193, pp. 102–111, doi: [10.1016/j.jhazmat.2011.07.035](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.035).
19. A. Lima and S. Lucena. 2015. “Theoretical study of CO₂:N₂ adsorption in faujasite impregnated with monoethanolamine. *Brazilian J. Chem. Eng.*, vol. 32, pp. 663–669. doi: [10.1590/0104-6632.20150323s00003450](https://doi.org/10.1590/0104-6632.20150323s00003450).
20. T. Chen, Z. Zhou, S. Xu, H. Wang, and W. Lu. 2015. Adsorption behavior comparison of trivalent and hexavalent chromium on biochar derived from municipal sludge. *Bioresour. Technol.*, vol. 190, pp. 388–394 doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.115>.
21. Jumina, Y. Priastomo, H. R. Setiawan, Mutmainah, Y. S. Kurniawan, and K. Ohto. 2020. Simultaneous removal of lead(II), chromium(III), and copper(II) heavy metal ions through an adsorption process using C-phenylcalix[4]pyrogallolarene material, *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 8, no. 4, p. 103971, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103971>.
22. S. R. Taffarel and J. Rubio. 2010. Adsorption of sodium dodecyl benzene sulfonate from aqueous solution using a modified natural zeolite with CTAB. *Miner. Eng.*, vol. 23, 10, 771–779, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.05.018>.