

PELEPASAN ION Cu[II] DAN Mn[II] PADA AIR ASAM TAMBANG MENGUNAKAN LEMPUNG BONTANG

Faisol Mukarrom*, Hidayatullah Sidiq**, Hendro Purnomo**

*Dosen Fakultas Teknologi Mineral, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta,
Email: faisol@itny.ac.id

**Dosen Fakultas Teknologi Mineral, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Info Artikel

Keywords:

Bontang clay, mine waste water, copper, manganese

Kata kunci:

Lempung Bontang, air asam tambang, tembaga, mangan

Abstract

Clay material is commonly used in water treatment for adsorbing metal ions. The study aimed to identify the determination of Bontang clay in releasing copper and manganese ions ions solved in mine waste water. Bontang clay was activated in a calcination att 700-800 °C and then characterized by Fourier Transform Infrared Analyzer (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), and Surface Area Analyzer (SAA). The Characterization of FTIR shows the presence of active groups of silanol (Si-OH) and aluminol (Al-OH) act as metal ions adsorbent. XRD shows the montmorillonite, kaolinite, illite and quartz. SAA displayed that post-activation was wider than pre-activation at 34.793 m²/g for pre-activation and 49.859 m²/g for after activated. Physical activation of Bontang clay increases the adsorption capability of Cu[II] and Mn[II]. Ultimate adsorption of Cu[II] on raw and activated Bontang clay were 96,53% and 94.67% at beginning concentration of 10 mg/dm³ and they were 74.91% and 32.82 % for Mn[II]. They lowered to 7.2% and 8.3% for raw and activated Cu[II] and 4.3% and 6.8% for Mn[II] at beginning concentration of 5,000 mg/dm³. The better adsorption percentage is for more little concentrations for both Cu[II] and Mn[II].

Abstrak

Mineral lempung dikenal sebagai adsorben yang baik pada ion logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya adsorpsi lempung Bontang terhadap ion Cu(II) dan Mn(II) yang terkandung pada limbah air tambang. Pada penelitian ini tanah liat Bontang dikalsinasi pada suhu 600-700 °C dan dikarakterisasi dengan Fourier Transform Infrared Analyzer (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), dan Surface Area Analyzer (SAA). Karakterisasi FTIR me adanya gugus aktif silanol (Si-OH) dan aluminol (Al-OH) yang berperan sebagai adsorben logam berat. Karakterisasi XRD menunjukkan adanya montmorillonit, kaolinit, ilit dan kuarsa. Karakterisasi SAA menunjukkan bahwa setelah aktivasi lebih besar dibandingkan sebelum aktivasi, yaitu sebesar 34,793 m²/g untuk pra aktivasi dan 49,859 m²/g untuk pasca aktivasi. Kalsinasi lempung Bontang meningkatkan daya serap Cu[II] dan Mn[II]. Persentase adsorpsi maksimum Cu[II] pada tanah liat Bontang mentah dan terkalsinasi adalah 96,53% dan 94,67% pada konsentrasi awal 10 mg/dm³ dan Mn[II] sebesar 74,91% dan 32,82%. Mereka menurun menjadi 7,2% dan 8,3% untuk Cu[II] mentah dan terkalsinasi dan 4,3% dan 6,8% untuk Mn[II] pada

konsentrasi awal 5.000 mg/dm³. Persentase adsorpsi yang lebih tinggi adalah untuk konsentrasi yang lebih rendah untuk Cu[II] dan Mn[II].

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumberdaya batubara sebesar 105,2 miliar metrik ton, dimana sekitar 21,1 miliar ton diantaranya berklasifikasi cadangan (Sulistijo dkk, 2013). Eksploitasi batu bara skala besar di Indonesia mengalami peningkatan yang cepat dengan beroperasinya perusahaan-perusahaan tambang baru pada 1980-an, sekitar 20 tahun setelah undang-undang investasi dan pertambangan dibebaskan (Friederich dan Leeuwen, 2017). Pertambangan batubara memiliki peran signifikan pada pembangunan ekonomi suatu negara, namun juga menyebabkan kerusakan lingkungan yang serius (Dutta dkk, 2017; Ranjan, 2019; Pranoto dkk, 2017).

Sebagian besar operasi penambangan di negara maju menerapkan metode tambang terbuka (Oggeri dkk, 2019). Jumlah *overburden* yang besar sebagai limbah pada tambang terbuka memerlukan pengelolaan yang modern karena rumitnya penanganan dan materialnya (Jablonska dan Siedlecka, 2015; Oggeri dkk, 2019). Manajemen pembongkaran dan pembuangan lapisan tanah penutup memiliki dampak penting dan harus diatur dengan sangat baik pada kegiatan operasi penambangan dan reklamasi ((Dutta dkk, 2017; Oggeri dkk, 2019).

Dampak lingkungan yang umumnya terjadi pada operasi tambang batubara akibat terangkutnya logam berat yang terkandung dalam air dari area tambang umumnya disebut sebagai Air Asam Tambang (AAT) (Jablonska dan Siedlecka, 2015; Ojonimi dkk, 2019; Simate et al, 2014). Larutan asam dapat terbentuk dalam proses dekomposisi mineral sulfida melalui proses oksidatif dalam pengelolaan air limbah (Bwapwa dkk, 2017).

Logam berat umumnya ditemukan pada aliran air permukaan dan bawah permukaan serta lindi yang terisi tanah (Musso dkk, 2014; Abidi, 2019). Air asam tambang dibagi menjadi tiga jenis yaitu asam, netral dan basa (Masindi, 2017). Konsentrasi logam; berat yang tinggi pada air asam tambang berdampak pada kerusakan lingkungan yang ditandai dengan ekosistem yang tercemar akibat kapasitas lindi dan adanya bakteri aktif (Bwapwa dkk, 2017).

Perhatian utama dampak tambang adalah pada AAT karena memiliki pH rendah (pH 2-3) dan peningkatan konsentrasi ion logam berat (Masindi, 2017; Choudhury dkk, 2017). AAT yang netral ditunjukkan oleh pH netral, konsentrasi Fe rendah dan kadar arsenik (As) terlarut yang tinggi, kadmium (Cd), timbal (Pb), seng (Zn) dan lain-lain. Aplikasi dan metodologi pengelolannya hanya dibahas secara sepintas (Lee et al, 2018).

Lempung merupakan material yang banyak diendapkan di dunia, murah dan mudah ditemukan (Pranoto dkk, 2017; Lee dkk, 2018). Beberapa asal material ini adalah lapisan tanah liat karbon yang menyertai lapisan batubara di banyak cekungan batubara yang tersebar di seluruh dunia (Jablonska dan Siedlecka, 2015; Offeddu dkk, 2015). Penelitian sebelumnya melaporkan tanah liat dari daerah tambang batubara dapat digunakan sebagai media adsorpsi logam berat dalam larutan air (Jablonska dan Siedlecka, 2015).

METODE

Sampel lempung Bontang diambil dari *overburden* area tambang batubara di Bontang Kalimantan Timur.

Preparasi of Adsorben

Sampel tanah liat dibersihkan dari kotoran kemudian ditumbuk dan disaring menjadi ukuran butir di bawah 200 mesh. Sampel kemudian dikeringkan di udara kering. Kajian adsorpsi logam berat Cu(II) dan Mn(II) dari larutan air dilakukan pada suspensi lempung Bontang pada konsentrasi 2%. Larutan Cu(II) berair 2% dituangkan ke dalam suspensi tanah liat Bontang dengan konsentrasi awal 10, 50, 100, 250, 500, 1000, 2500 dan 5000 mg/dm³.

dimana KL dan Q adalah konstanta untuk adsorbat dan adsorben pada temperatur tertentu. Koefisien Q (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi, ketika q cenderung untuk Ce besar. Konstanta KL (dm³/mg), disebut sebagai konstanta adsorpsi Langmuir, mengungkapkan kekuatan interaksi adsorbat dan adsorben. Nilai KL yang lebih besar menghasilkan kurva yang tumbuh tajam untuk konsentrasi kecil

Aktivasi Adsorben

Kemampuan adsorpsi suatu adsorben dapat ditingkatkan melalui aktivasi fisik. Kenaikan diukur. Bahan halus tersebut dimasukkan ke dalam cold muffle furnace (Thermoyne type 48000) dengan cara oksidasi pada suhu sekitar 6000-7000C selama 2 jam (Jablonska and Siedlecka, 2015; Alaistara dkk, 2018). Tungku kemudian dimatikan dan bahan aktif dibiarkan di dalam sampai suhunya menjadi dingin. Proses adsorpsi yang sama juga dilakukan pada tanah liat Bontang mentah.

Aplikasi Adsorpsi

Kajian adsorpsi lempung Bontang pada logam berat dilakukan pada larutan sintetik yang dibuat berdasarkan senyawa murni analitik tembaga dan timbal yang mengandung salah satu ion logam tersebut yang konsentrasi awalnya mirip dengan konsentrasinya pada air asam tambang.

Penelitian ini dilakukan pada suspensi lempung dengan konsentrasi 2%. Suspensi dituang dengan larutan logam berat konsentrasi awal 10, 50, 100, 250, 500, 1000, 2500 dan 5000 mg/dm³. Sampel kemudian diaduk dengan vibrator putar menggunakan hot plate + pengaduk (Thermolyne type 1000 Stirrer plate) selama kurang lebih dua jam pada suhu 20oC kemudian ditempatkan di ruang gelap selama 22 jam. Selanjutnya, larutan dituangkan dan sedimen dihilangkan dengan clarifier sentrifugal pada 2500 rpm.

Massa logam yang terserap per satuan massa sedimen, q, dihitung dengan rumus sebagai berikut (Jablonska dan Siedlecka, 2015).

$$q = \frac{C_i - C_e}{V} \sum \frac{mg}{mg} \quad (1)$$

Catatan: Ci, Ce e konsentrasi awal dan kesetimbangan Cu(II) (mg/dm³), V e volume larutan (dm³), me massa sedimen yang digunakan (g). Tiga pengukuran dilakukan untuk setiap jenis sampel dan nilai rata-rata diambil untuk perhitungan lebih lanjut.

Analisis Adsorpsi

Adsorpsi Isotermik

Adsorpsi isotermik mencerminkan hubungan jumlah adsorbat yang dilepaskan dari fase cair dengan satuan massa adsorben pada suhu yang sama (Hasan dkk, 2019). Jumlah logam teradsorpsi ditemukan dan isoterm adsorpsi q f(Ce) untuk Cu dan Mn pada lempung mentah dan tanah liat yang dikalsinasi ditentukan. Isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir digunakan dalam penelitian ini karena keduanya sangat umum digunakan dalam deskripsi kuantitatif adsorpsi. Mereka menggambarkan hubungan antara massa adsorbat per satuan massa adsorben, juga disebut sebagai kapasitas adsorpsi (q, mg/g), dan konsentrasi adsorbat dalam cairan dalam kesetimbangan (Ce, mg/dm³). Rumus isoterm adsorpsi Freundlich memiliki bentuk sebagai berikut:

$$q = K_F C_e^n \quad (2)$$

dimana KF dan n adalah konstanta empiris tergantung pada adsorben dan adsorbat pada temperatur tertentu. Koefisien KF diukur kapasitas adsorpsi. Parameter n, dimana 0 < n < 1, menunjukkan intensitas adsorpsi. Kurva yang berkaitan dengan nilai n yang kecil tumbuh tiba-tiba untuk konsentrasi kecil dan perlahan untuk yang lebih besar, mencerminkan adsorpsi yang kira-kira sama untuk semua rentang konsentrasi yang diperiksa.

Rumus isoterm adsorpsi Langmuir adalah sebagai berikut:

$$1/Q = \frac{1}{Q_{\infty}} + \frac{K_L C_e}{Q_{\infty}} \quad (3)$$

dan sebagian besar konstan pada tingkat Q untuk yang lain. Oleh karena itu, semakin besar nilai KL semakin rendah konsentrasi pada saat adsorben jenuh.

Ketika persamaan Langmuir dibandingkan dengan persamaan Freundlich, baik Q maupun KF merupakan faktor s yang mencerminkan kapasitas adsorpsi, dan baik KL maupun n menggambarkan bentuk isoterm. Namun, isoterm Freundlich menunjukkan nilai q tak terbatas untuk C_e besar, sedangkan isoterm Langmuir lebih realistis dan memberikan q dibatasi oleh Q. Koefisien KF, n , Q, KL, KE dan q_m biasanya ditentukan dari bentuk linier dari persamaan isoterm. Dengan mengambil logaritma dari kedua sisi persamaan Freundlich diperoleh

$$\log q = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_f; \quad (4)$$

dimana $\log q$ adalah fungsi linear dari $\log C_e$ dengan koefisien $\log K_f$ dan n . Bentuk linier mengarahkan kita untuk menggunakan metode regresi linier. Isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir menunjukkan nilai koefisien determinasi yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi pada lempung Bontang bersifat campuran dan tidak seragam serta tidak spesifik, yang kemungkinan berasal dari nonhomogenitas lempung. Situs adsorpsi dapat sangat berbeda dalam energi, tergantung pada apakah mereka berada di tepi atau dalam posisi cacat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Adsorben

Karakterisasi FTIR

Spektrum FTIR lempung Bontang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada pra dan pasca aktivasi, lempung Bontang mengalami perubahan pergeseran bilangan gelombang Si-O-Si / Al-O-Al (dari 1031 cm^{-1} menjadi 1033 cm^{-1}) dan Al-OH (dari 912 cm^{-1} menjadi 916 cm^{-1}).

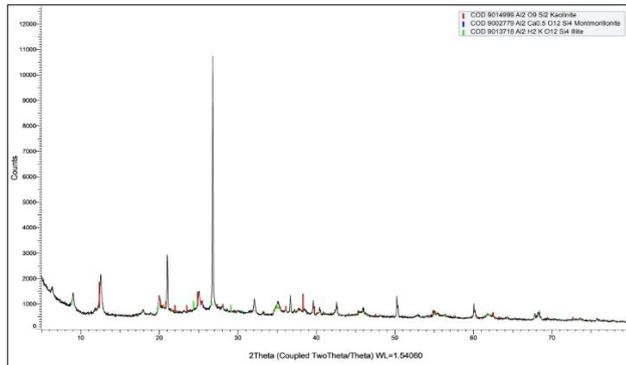
Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh (Bwapwa dkk, 2018), kalsinasi membuat perubahan seperti yang digambarkan dengan peningkatan intensitas akibat penghilangan pengotor (Tabel 1).

Tabel 1. Adsorpsi FTIR lempung Bontang sebelum dan sesudah aktivasi

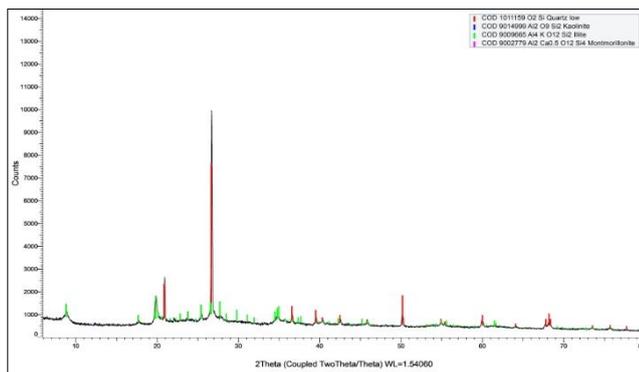
| No | Gugus Fungsi | Angka gelombang (cm^{-1}) | | |
|----|-------------------|--------------------------------------|--------------|----------------|
| | | Referensi | Pra-aktivasi | Pasca-aktifasi |
| 1 | Al-OH-Al | 3616 | 3695; 3623 | 3699; 3625 |
| 2 | -OH | 3500-3400 | 3421 | 3426 |
| 3 | H-O-H | 1639 | 1628 | 1635 |
| 4 | Si-O-Si / Al-O-Al | 1039 | 1002 | 1012 |
| 5 | Al-OH | 920-690 | 920 | 928 |
| 6 | Si-O / Al-O | 470,6 | 455 | 455 |

Karakterisasi Difraktometri Sinar-X (XRD)

Pola XRD lempung Bontang ditunjukkan pada Gambar 1. Analisis XRD lempung Bontang sebelum dan sesudah aktivasi diperoleh adanya kandungan mineral seperti kaolinit (K), montmorillonit (M), ilit (I), dan kuarsa (Q), ditunjukkan dengan munculnya puncak difraksi pada 2θ . Pada lempung Bontang pra-aktif, kaolinit, montmorillonit, ilit dan kuarsa muncul pada $35,02^\circ$ dan $32,09^\circ$; $5,34^\circ$, $19,85^\circ$, dan $61,65^\circ$; $27,70^\circ$; dan $67,29^\circ$ masing-masing. Pada lempung Bontang aktif, lempung Bontang, kaolinit, 2montmorillonit, ilit dan kuarsa muncul pada $30,24^\circ$, $39,35^\circ$, $60,2^\circ$; $5,65^\circ$, $19,10^\circ$, dan $62,05^\circ$; $26,89^\circ$; dan $64,37^\circ$ masing-masing. Difraktogram pra dan pasca aktivasi menunjukkan penurunan intensitas dan puncak baru. Penurunan intensitas tiap mineral menunjukkan perubahan struktur dari crustal menjadi amorphous.



Gambar 1. Pola XRD lempung Bontang sebelum aktivasi



Gambar 2. Pola XRD lempung Bontang setelah aktivasi

Analisis Luas Permukaan

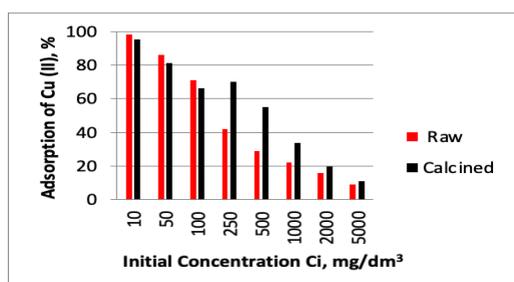
Angka luas permukaan merupakan interaksi antara suatu material padat dengan material di sekelilingnya, seperti cair dan gas. Hal terpenting dalam mendapatkan besaran luas permukaan adalah molekul gas terserap. Besaran luas permukaan didapatkan menggunakan uji adsorpsi-desorpsi N₂ melalui persamaan Brunauer, Emmet, dan Teller (BET).

Pada penelitian ini, luas permukaan spesifik lempung Bontang pra-aktif sebesar 34,793 m²/g sedangkan lempung Bontang pasca aktivasi sebesar 49,859 m²/g. Pembesaran luas permukaan ini kemungkinan disebabkan oleh proses aktivasi fisik. Luas permukaan yang diperbesar ini memberikan luas permukaan adsorben sehingga ion logam dapat teradsorpsi

Analisis Adsorpsi

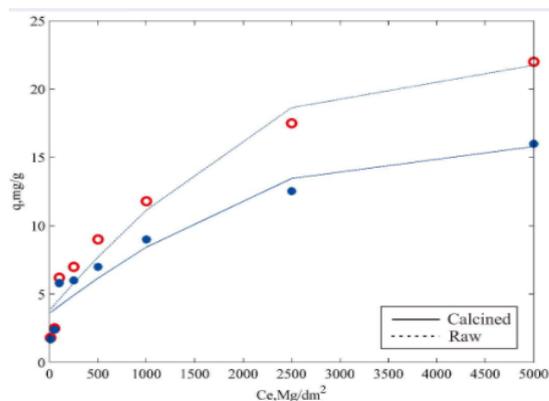
Tembaga

Adsorpsi statik pada lempung mengakibatkan perubahan konsentrasi Cu(II) yang ditampilkan pada Gambar 3



Gambar 3. Persentase Adsorpsi Cu(II) Pada Lempung Bontang

Terjadi penurunan persentase adsorpsi Cu(II) pada semua konsentrasi lebih besar seperti pada Gambar 4. Persentase adsorpsi maksimum lempung Bontang mentah pada Cu(II) adalah 96,2 % untuk konsentrasi awal 10 mg/dm³ dan 94,5% yang teraktivasi. Turun menjadi 42,6% untuk 250 mg/dm³ dan 70,2% untuk yang dikalsinasi. Pada konsentrasi awal 5000 mg/dm³, itu sama dengan 8,3% untuk tanah liat Bontang mentah dan sekitar 7,2% untuk tanah liat aktif. Lempung Bontang yang diuji memiliki kemampuan adsorpsi Cu(II) sama atau lebih baik dari adsorben lainnya.

**Gambar 4.** Isoterm Adsorpsi Cu(II) Dari Lempung Bontang*Mangan*

Persentase adsorpsi ion Mn tergantung pada konsentrasi awal. Semakin rendah dengan semakin tingginya konsentrasi awal Mn pada tanah liat Bontang yang diteliti.

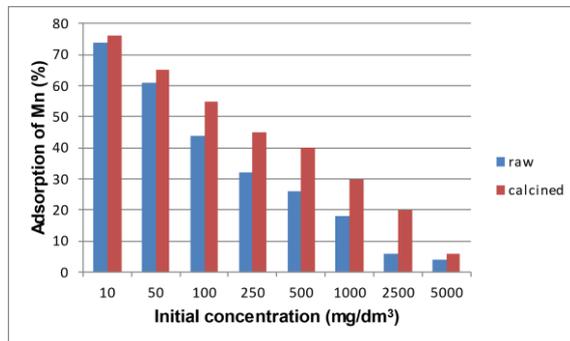
Persentase adsorpsi ion Mn tergantung pada konsentrasi awal. Semakin rendah dengan semakin tingginya konsentrasi awal Mn pada tanah liat Bontang yang diteliti.

Seperti terlihat pada Gambar 5, untuk tanah liat Bontang mentah mengalami penurunan dari 74,62% untuk konsentrasi awal 10 mg/dm³ dan 76,67% untuk yang dikalsinasi. Pada konsentrasi awal 250 mg/dm³ mereka menurun menjadi 32,65% dan 44,29% masing-masing untuk sebelum dan sesudah kalsinasi. Konsentrasi awal 5000 mg/dm³, yaitu 4,33% untuk tanah liat Bontang mentah dan 6,87% untuk tanah liat aktif.

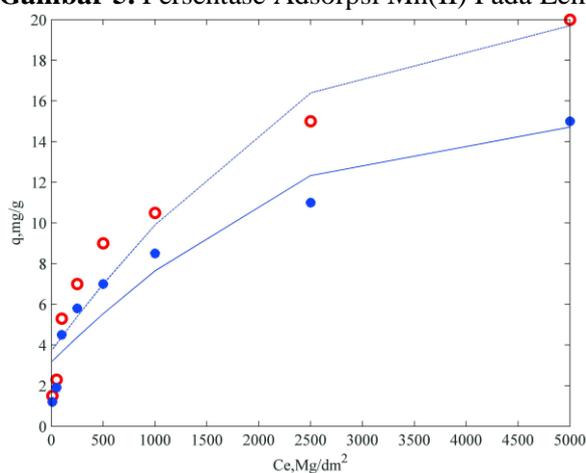
Gugus interpacket water dan OH— pada permukaan aluminosilikat sebagian besar dihilangkan dengan aktivasi lempung Bontang. Ini dibuat dalam mengurangi jumlah situs aktif bermuatan negatif pada permukaan logam.

Penurunan adsorpsi Mn(II) karena pelepasan gugus asam juga telah dipelajari dalam kasus karbon aktif yang diaktifkan pada suhu sekitar 600 °C, meskipun karbon tetap berada di sebagian besar gugus non-asam permukaan.

Studi tersebut menunjukkan bahwa tanah liat Bontang yang diteliti dapat menyerap logam dalam jumlah besar.



Gambar 5. Persentase Adsorpsi Mn(II) Pada Lempung Bontang



Gambar 6. Isoterm Adsorpsi Mn(II) Dari Lempung Bontang

Ringkasan Adsorpsi

Logam Cu[II] dan Mn[II] yang diadsorpsi oleh lempung Bontang yang diperiksa memenuhi kira-kira hubungan Cu(II) > Mn(II). Isoterm adsorpsi untuk Cu(II) dan Mn(II) (Gambar 5 dan 6) menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi tidak lebih dari 5 mg/g jika konsentrasinya kurang dari 100 mg/dm³.

Intensitas adsorpsi meningkat secara bertahap untuk Cu(II) dan Mn(II) ketika konsentrasinya lebih dari 250 mg/dm³. Adsorpsi Mn[II] yang lemah pada lempung Bontang dapat dikaitkan dengan adanya sejumlah kecil pirit halus pada sampel mentah, tetapi tidak ada pada pola XRD. Kehadiran oksidasi pirit dalam suspensi tanah liat dihidrolisis memimpin dalam pendudukan situs pertukaran dalam mineral tanah liat oleh ion hidrogen, yang bersaing dengan ion logam, secara signifikan mengurangi intensitas adsorpsi.

Tanah liat Bontang teraktivasi menunjukkan kemampuan adsorpsi yang sangat baik Mn[II]. Namun, kalsinasi tidak membuat perubahan signifikan pada struktur kristal untuk adsorpsi Cu[II]. Isoterm adsorpsi mencerminkan bahwa ion logam tidak membuat adsorben jenuh untuk konsentrasi yang relatif tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi pelepasan kation logam berat pada tanah liat Bontang mentah dan terkalsinasi tergantung pada struktur tanah liat dan bervariasi untuk masing-masing logam.

KESIMPULAN

Hasil analisis yang diambil mengarah pada kesimpulan berikut:

1. Tanah liat Bontang dapat dimanfaatkan sebagai material adsorben Cu(II) dan Mn[II] pada air asam tambang . Hal tersebut telah dibuktikan dengan penelitian ini, dimana diperoleh karakteristik adsorben dan persentase adsorpsi.
2. Kalsinasi lempung Bontang pada suhu 600-700°C secara signifikan meningkatkan kemampuan adsorpsi Cu(II) dan penurunan Mn[II].
3. Kemampuan adsorpsi lempung Bontang terhadap ion tembaga lebih baik dibandingkan dengan kemampuan adsorpsi pada ion Mangan.
4. Persentase adsorpsi Cu(II) dan Mn[II] oleh larutan lempung Bontang berair meningkat dengan penurunan konsentrasi.
5. Pada penelitian ini adsorpsi tembaga terbaik adalah lempung Bontang teraktivasi sebesar 5.000 mg/dm³.

DAFTAR PUSTAKA

- Sulistijo U.W., Wibowo A.P., Abdullah, The Contribution Of Low Rank Coal Liquefaction In Indonesian Economy In 2025. *Procedia Earth and Science*, Vol 6, 2013, pp. 301-310.
- Friederich MC, Leeuwen TV. A Review Of The History Of Coal Exploration, Discovery And Production In Indonesia: The Interplay Of Legal Framework, Coal Geology And Exploration Strategy. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 178, 2017, pp. 56-73.
- Jabłonska B., Siedlecka E., Removing Heavy Metals From Wastewaters With Use Of Shales Accompanying The Coal Beds. *Journal of Environmental Management*, Vol. 155, 2015, pp. 58-66.
- Masindi V., Recovery Of Drinking Water And Valuable Minerals From Acid Mine Drainage Using An Integration Of Magnesite, Lime, Soda Ash, CO₂ And Reverse Osmosis Treatment Processes. *Journal of Environmental Chemical Process*, Vol. 5, 2017, pp. 3136-3142.
- Pranoto, Purnawan C, Widayarsi A.D., Synthetic Of Allophane-Like And Adsorption For Lead (Pb) Heavy Metals. *Earth And Environmental Science*, Vol. 75, 2017, pp. 1-7.
- Choudhury B.U., Malang A, Webster R. Mohapatra K.P., Kumar B.C., Das A., Hazarika S., Acid Drainage From Coal Mining: Effect On Paddy Soil And Productivity Of Rice. *Science of the Total Environment*, Vol 583, 2017, pp. 344-351.
- Dutta M., Saikia J., Taffarel S.R., Waanders F.B., Medeiros D., Cutruneo C.M.N.L., et al. Environmental Assessment And Nano-Mineralogical Characterization Of Coal, Et Al. And Sediment From Indian Coal Mining Acid Drainage. *Geoscience Frontiers*, Vol. 8, 2017, pp. 1285-1297.
- Alastaira M., Andrew H., Pascaline P., Mark E., Walker P., Alkali Activation Behaviour Of Un-Calcined Montmorillonite And Illite Clay Minerals. *Applied Clay Science*, Vol. 166, 2018, pp. 250–261.
- Abidi N., Duplay J., Jada A., Errais E., Ghazi M., Semhi K. and Trabelsi-Ayadi M. Removal Of Anionic Dye From Textile Industries' Effluents By Using Tunisian Clays As Adsorbents. Zeta Potential and Streaming-Induced Potential Measurements. *C.R. Chimie*, Vol. 22, 2019, pp. 113-125.

- Musso T., Parolo M, Pettinari, G, Francisca, F. Cu(II) And Zn(II) Adsorption Capacity Of Three Different Clay Liner Materials. *Journal of Environmental Management*, Vol. 146, 2014, pp. 50-58.
- Bwapwa J.K., Jaiyeola A.T., Chetty R., Bioremediation Of Acid Mine Drainage Using Algae Strains: A Review. *South African Journal of Chemical Engineering*, Vol.24, 2017, pp. 62-70.
- Offeddu F.G., Cama J., Soler J.M., Davila G., McDowell A., Craciunescu T., Tiseanu I., Processing Affecting The Efficiency Of Limestone In Passive Treatment For AMD: Column Experiments. *J. Env. Chem. Eng.* Vol.3 2015, pp. 304-316.
- Lee G., Cui M., Yoon Y., Khim J. and Jang M., Passive Treatment Of Arsenic And Heavy Metals Contaminated Circumneutral Mine Drainage Using Granular Polyurethane Impregnated By Coal Mine Drainage Sludge. *Journal of Cleaner Production*, Vol 186, 2018, pp. 282-292.
- Ranjan R., Assessing the impact of mining on Deforestation In India. *Resources Policy*, Vol.60, 2019, pp. 23-35.
- Oggeri C., Fenoglio T.M., Godio I. and Vinai R. Overburden Management In Open Pits: Options And Limits In Large Limestone Quarries. *International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. 29, 2019, pp. 217-228.
- Ojonimi T.I., Asuke F., Onimisi M.A. and Onuh C.Y., Acid Mine Drainage (AMD): An Environmental Concern Generated By Coal Mining. *Journal Of Degraded And Mining Lands Management*, Vol. 6, Issue 4, 2019, pp.1875-1881.
- Simate GS, Ndlovu S. Acid mine drainage: Challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 2, 2014, pp.1785-1803.
- Jaskulski R., Józwiak-Niedz'wiedzka D. and Yakymchko, Y., Calcined Clay as Supplementary Cementitious Material. *Materials*, Vol. 13, 2020, pp.4734-4769.
- Hasan A., Kalsum L., Yerizam M., Junaidi R., Taufik M., Aznury M., and Fatria. *Journal of Physics: Conf. Series*, Vol.167, 2019, pp.1-5