



OVERVIEW PENGELOLAAN AIR ASAM TAMBANG DENGAN MENGGUNAKAN ZEOLIT

Amila Sefti^{1*)}, Edy Nursanto²⁾, Rika Ernawati²⁾

¹⁾ Magister Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta

²⁾ Staf Pengajar Prodi Magister Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta

*E-mail: 212211008@student.upnyk.ac.id

ABSTRAK

Air asam tambang adalah masalah global yang menyebabkan dampak lingkungan berbahaya. Air asam tambang memiliki tingkat keasaman yang tinggi dan mengandung konsentrasi logam berat dan metaloid yang tinggi, membuatnya beracun bagi tumbuhan, hewan, manusia. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis untuk mengurangi dampak dari air asam tambang agar tidak membahayakan tumbuhan, hewan dan manusia, sehingga didapatkan hasil metode yang efektif dan efisien salah satunya dengan pengelolaan air asam tambang menggunakan zeolit dan berbagai adsorben lainnya. Penelitian ini penulis membandingkan beberapa karya ilmiah yang telah dilakukan sebelumnya dengan melihat kelebihan, kekurangan berdasarkan literature review. Metode yang efektif dalam pengelolaan air asam tambang adalah pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan zeolit sintesis, abu terbang dan abu dasar karena memiliki kelebihan yang lebih dari pada metode lainnya. Sedangkan metode yang efisien dalam pengelolaan air asam tambang adalah metode zeolit alam yang hemat biaya dibandingkan dengan metode lainnya dikarenakan tanpa ada tambahan bahan kimia secara terus menerus.

Kata Kunci: air asam tambang; pengelolaan; zeolit

ABSTRACT

Acid mine drainage is a global problem and causes dangerous environmental impacts. Acid mine drainage has a high level of acidity and contains high concentrations of heavy metals and metalloids, making it toxic to plants, animals, and humans. Therefore, it is necessary to carry out an analysis to reduce the impact of acid mine drainage so that it does not harm plants, animals, and humans so that effective and efficient methods are obtained, one of which is managing acid mine drainage using zeolites and various other adsorbents. In this research, the author compares several studies that have been conducted by previous research by looking at the advantages and disadvantages based on a literature review. An effective method for managing acid mine water is managing acid mine water using synthetic zeolite, fly ash, and bottom ash because it has more advantages than other methods. Meanwhile, an efficient method for managing acid mine drainage is the natural zeolite method which is cost-effective compared to other methods because it does not require continuous chemical additions.

Keywords: acid mine drainage; management; zeolit.

I. PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan mengungkap sejumlah besar endapan mineral yang mengandung pirit yang tersimpan di lapisan batuan di bawah permukaan bumi, di mana hanya ada sedikit atau tidak ada oksigen. Kegiatan penambangan membawa endapan ini ke permukaan di mana mereka dihancurkan untuk melepaskan mineral berharga seperti tembaga, seng, emas, nikel dll, tailing tertinggal di lokasi tambang (Rios.C.A, dkk 2008).

Air asam tambang adalah masalah global yang menyebabkan dampak lingkungan berbahaya. Air asam tambang memiliki tingkat keasaman yang tinggi dan mengandung konsentrasi logam berat dan metaloid yang tinggi, membuatnya beracun bagi tumbuhan, hewan, dan manusia. Maka diperlukan metode pengelolaan air asam tambang yang efektif dan efisien dalam menyelesaikan dampak dari air asam tambang.

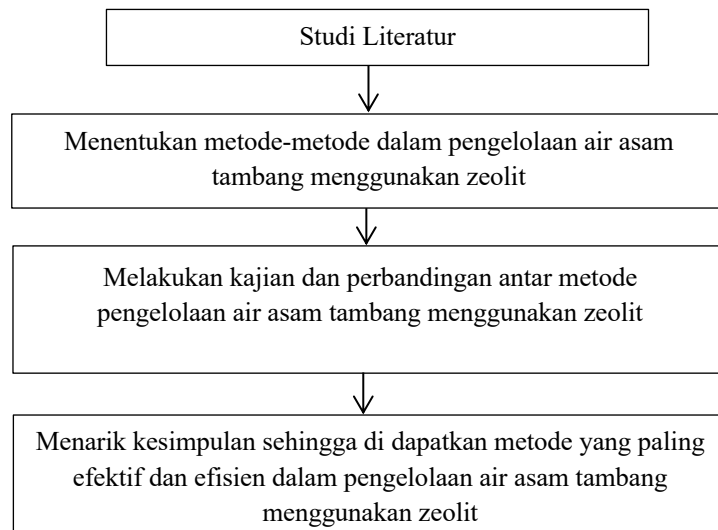
Pengobatan tradisional untuk Air asam tambang telah banyak digunakan sejak lama. Namun demikian, beberapa keterbatasan, seperti kemanjuran yang rendah dan kontaminasi sekunder, telah menyebabkan mereka digantikan dengan metode lain seperti pengobatan Air asam tambang berbasis bio. Metode adsorpsi adalah salah satu metode yang murah dan efektif dalam penanggulangan dampak negative pencemaran air (Kadja dan Ilmi, 2019). Metode adsorpsi sangat potensial dalam menghilangkan warna, minyak dan bau karena memiliki daya serap yang cukup baik (Ngapa dan Gago, 2019). Penelitian ini menggunakan metode adsorpsi menggunakan zeolit yang telah dikombinasikan dengan adsorben lainnya dikarenakan cukup murah dan mudah didapatkan.

Zeolit merupakan salah satu bahan yang bisa dijadikan adsorben yang memiliki struktur kerangka tiga dimensi yang timbul dari penggabungan $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ tetrahedral. Setiap atom oksigen dibagi antara dua atom Al dan Si tetrahedral ini menciptakan kisi tak terbatas yang terdiri dari blok bangunan identik (unit sel) dengan cara yang khas untuk bahan Kristal. Zeolit menjadi alternatif untuk pengelolaan air asam tambang adalah zeolit memiliki luas permukaan yang tinggi karena strukturnya yang berpori dan kaku, Zeolit memiliki stabilitas struktural yang baik bahkan dalam kondisi asam, sehingga diharapkan dapat dengan mudah diregenerasi dengan sedikit efek pada struktur dan kapasitas adsorpsinya.

Zeolit dapat menetralkan larutan asam, ini dicapai melalui pertukaran ion H^+ dari larutan dengan kation yang dapat ditukar dalam struktur zeolit. Beberapa karya ilmiah tentang metode pengelolaan air asam tambang menggunakan zeolit telah menunjukkan kelayakan menggunakan zeolit alam untuk mengadsorpsi logam berat di bawah kondisi percobaan yang berbeda seperti suhu, pH, konsentrasi dan kecepatan pengadukan. (Paradise, 2020). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui metode yang efektif dan efisien dalam pengelolaan air asam tambang serta mengetahui kelebihan dan kekurangan pada setiap metode.

II. METODE

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah literature review. Yaitu sebuah pencarian literature baik internasional maupun nasional artikel dari tahun 2004 sampai 2022. Penelitian ini diharapkan dapat menentukan metode yang efektif dan efisien dalam pengelolaan air asam tambang. Tahapan penelitian yang dilakukan penulis dijabarkan dalam bentuk diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir kajian.

2.1 Efektivitas

Efektivitas sangat berperan penting dalam pengelolaan air asam tambang, dengan mengetahui parameter yang baik digunakan, maka dalam pengelolaannya perlu ditinjau bagaimana mekanisme yang sesuai standar untuk menghasilkan hasil yang maksimal. Efektivitas untuk mengetahui seberapa banyak logam berat yang terserap. Untuk memperoleh hasil efektivitas pengelolaan air asam tambang menggunakan zeolit yang dikombinasikan dengan adsorben lainnya menggunakan persamaan yang berbeda-beda dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tahapan analisis efektivitas.

Judul	Tahapan	Formula
Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit dan Kapur Tohor	Dlap : Dosis lapangan Dlab : Dosis laboratorium Vsp : Volume air limpasan Vlab : Voume air laboratorium	$D_{lap} \frac{D_{lab} \times V_{sp}}{V_{lab}}$

Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Alam	q_e : Kapasitas adsorpsi (mg/g) ε : Efisiensi penyerapan (%) V : Volume larutan (L) C_o : Konsentrasi awal ion (mg/L) C_e : Konsentrasi akhir ion (mg/L) M : Massa zeolit (gram)	$q_e \frac{V (C_o \times C_e)}{M}$ $\varepsilon \frac{(C_o \times C_e)}{C_o}$
Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Dan Limestone	M : Massa Partikel (G) S : Faktor Ukuran D : Diameter (Cm) E : Perbandingan L (Panjang Maksimum) Dan D	$massa = \frac{\pi D^2}{m} S$ $D = 2 \times \sqrt[3]{\frac{vol}{\frac{4}{3}\pi}}$
Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit, Tempurung Kelapa Dan Karbon Aktif	$\frac{x}{m}$: kapasitas adsorpsi (mg/g) Q : efektivitas penyerapan (%) V : volume larutan (liter) W : massa adsorben (gram) C_o : konsentrasi awal dalam larutan (mg/l) C_e : konsentrasi logam berat dalam AAT pada waktu t (mg/l)	$S = 1,15 - 0,25E$ $\frac{x}{m} = \frac{(C_o - C_e) \cdot V}{W}$ $Q = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\%$
Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Sintetik, Fly Ash Batubara Dan Klinker Alam	1. Effisiensi penyisihan 2. Adsorpsi logam	$cu \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$ $q_e \frac{C_o - C_e}{W} V$ $\log Q_e = \log K_F + \frac{1}{n} C_e$ $\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_{max}} + \frac{1}{b Q_{max}}$
Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Dan Bakteri	1. Efektivitas (%) Kenaikan 2. Efektivitas (%) Penurunan C_o : Konsentrasi Awal C_t : Konsentrasi Akhir	$= \left(1 - \frac{C_o}{C_t}\right) \times 100\%$ $= \left(1 - \frac{C_t}{C_o}\right) \times 100\%$
Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Sintesis Dikombinasikan Abu Terbang Dan Abu Dasar	1. Effisiensi penyisihan 2. Adsorpsi logam	$cu \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$ $q_e \frac{C_o - C_e}{W} V$ $\log Q_e = \log K_F + \frac{1}{n} C_e$ $\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_{max}} + \frac{1}{b Q_{max}}$

<p>Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit, Kapur Tohor Dan Tawas</p>	<p>Dlap : Dosis lapangan Dlab : Dosis laboratorium Vsp : Volume air limpasan Vlab : Voume air laboratorium</p>	$D_{lap} \frac{D_{lab} \times V_{sp}}{V_{lab}}$
<p>Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Alam Dan Zeolit Sintesis</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efektivitas tembaga 2. Kapasitas adsorpsi 3. Persentase adsorpsi 4. Persentase akhir setelah proses adsorpsi 	$In = (qe - qt) = In qe - k_1 t$ $\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 qe^2}$ $\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m b}$ $\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log c_e$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam Pengelolaan air asam tambang menggunakan Zeolit telah dilakukan kajian terhadap penyerapan logam berat pada air yang terkontaminasi dijabarkan pada beberapa sub bab dibawah ini:

3.1. Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit dan Kapur Tohor

Dalam pengelolaan air asam tambang dengan zeolit yang dikombinasikan dengan kapur tohor dapat meningkatkan kualitas air asam tambang. Pada penelitian ini pengelolaan air asam tambang dilakukan dengan cara diaduk dengan masing-masing adsorben yang dilakukan secara terpisah. Dalam pengelolaan air asam tambang menggunakan zeolit dan kapur tohor ini reaktivitas kapur tohor lebih besar dibandingkan dengan zeolit. Pada penelitian ini zeolit dapat menurunkan kadar logam berat tetapi tidak memenuhi standar baku mutu lingkungan dibandingkan dengan kapur tohor dapat menurunkan kadar logam berat yang telah memenuhi standar baku mutu lingkungan. Kapur tohor memiliki hubungan yang sangat kuat pada ketiga variabel bebas, sedangkan zeolit hanya berkolerasi sangat kuat dengan dosis dan ukuran. Perubahan kandungan logam berat pada penelitian ini di analisis menggunakan uji AAS.

3.2. Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Alam

Pengelolaan air asam tambang menggunakan metode ini menggunakan sistem batch, pengelolaan air asam tambang menggunakan bahan zeolit alam adalah sebagai metode yang berbiaya rendah dalam pengelolaan air asam tambang, pada penelitian ini zeolit alam tidak diaduk, dibiarkan dalam gelas kimia selama kurang lebih 9 hari. zeolit alam mampu menghilangkan logam berat terutama besi pada air asam tambang. laju aliran yang lebih lambat memberikan efisiensi dan kapasitas penyisihan yang lebih baik dibandingkan dengan yang lebih cepat, karena laju aliran yang lebih lambat menyebabkan waktu tinggal yang lebih besar, sehingga kolom mendekati kesetimbangan. efektivitas zeolit alam menurun dengan berkurangnya massa, karena massa yang lebih kecil menjadi lebih cepat jenuh dan juga rentan terhadap adsorpsi.

3.3. Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Dan Limestone

Berdasarkan literature review pengelolaan air asam tambang menggunakan zeolit dan limestone untuk pengelolaan air asam tambang. Pada penelitian ini menunjukkan zeolit mampu menetralkan air asam tambang dan mampu mereduksi pengendapan pada permukaan limestone. Penelitian ini menggunakan saluran terbuka yang terdiri dari empat saluran. Penelitian ini menguji zeolit dan limestone secara terpisah dalam satu saluran. Semakin besar butirannya, semakin lemah kemampuannya dalam menetralkan air asam tambang. Saluran untuk mengontrol zeolit dapat menaikkan pH asli air asam tambang. Nilai pH cenderung meningkat pada awal pengujian dan berangsur-angsur menurun hingga akhir pengujian. Semakin besar luas permukaan adsorben maka pertukaran ion pun semakin besar. Ketika adsorben bersentuhan dengan air asam tambang, tidak hanya ion logam tetapi juga ion hidrogen yang bertukar, sehingga meningkatkan pH. Dalam penelitian ini, batu kapur hanya menyerap sedikit logam berat karena ukuran butirnya yang besar.

3.4. Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit, Tempurung Kelapa Dan Karbon Aktif

Pada penelitian ini menggunakan adsorben zeolit, tempurung kelapa dan karbon aktif dengan menggunakan magnetic stirrer dengan cara mengaduk Komposit yang tersusun dari 25% batulempung, 25% zeolit dan 50% sehingga dengan percobaan tersebut didapatkan bahwa Komposit dengan susunan tersebut merupakan komposit terbaik dengan luas permukaan yang besar sehingga komposit tersebut yang digunakan untuk pengujian dalam memperbaiki kualitas air asam tambang. Efektivitas dan kapasitas adsorpsi komposit adalah Komposit dengan massa 2,5 gram merupakan komposit yang paling efisien dan efektif untuk meningkatkan pH dan menurunkan konsentrasi logam berat untuk memenuhi baku mutu setempat. Efektifitas adsorpsi logam berat sebesar 99% untuk Kapasitas adsorpsi logam berat sebesar 1,286 mg/g.

3.5. Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Sintetik, Fly Ash Batubara Dan Klinker Alam

Berdasarkan literature review penelitian ini menggunakan zeolit sintetik, fly ash batubara dan klinker alam dalam pengelolaan air asam tambang dengan cara pengadukan menggunakan sistem batc. Dalam penelitian ini peneliti mengungkapkan bahwa dalam menurunkan logam berat akan bergantung pada bahan penyerap dan dosis yang telah diterapkan Dalam pengelolaan air asam tambang menggunakan metode ini dapat mengurangi konsentrasi logam berat. pH pada air asam tambang dengan pH awal 1,96 setelah percobaan menjadi 2,66 dan belum memenuhi baku mutu dan konsentrasi logam berat rendah, meskipun setelah 5 menit percobaan reaksi diperoleh pH mendekati baku mutu lingkungan dan konsentrasi logam berat yang tinggi, yang setara dengan drainase asam dan logam atau (DAL) yang terkait dengan vena sfalerit-galena yang miskin pirit dan penggantian dalam batuan karbonat, pirit dan breksi dengan karbonat. Oleh karena itu, penggunaan dosis sorben yang lebih tinggi dalam pengelolaan air asam tambang mendorong peningkatan pH dan penurunan konsentrasi logam berat.

3.6. Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Dan Bakteri

Pada penelitian Pengelolaan Air asam tambang yang menggunakan zeolit dan bakteri ada lima macam percobaan yaitu bakteri pereduksi limbah (BPL), bakteri pereduksi sulfat (BPS), zeolit, bakteri pereduksi limbah (BPL) yang dikombinasikan dengan zeolit, dan bakteri pereduksi sulfat (BPS) dikombinasikan dengan zeolit. Dari hasil penelitian ini semua perlakuan tersebut, bakteri pereduksi sulfat (BPS) yang dikombinasikan dengan zeolit merupakan metode yang paling efektif dalam pengendalian air asam tambang, karena hasil evaluasi untuk setiap parameter pengujian paling optimum dari kombinasi zeolit lainnya. Pada metode ini dapat menurunkan kadar logam berat dengan nilai efisiensi 89,11%. Hasil penelitian yang menggunakan lima perlakuan berbeda menunjukkan bahwa perlakuan yang paling efektif adalah penggunaan kombinasi bakteri pereduksi sulfat, zeolit, untuk mengendalikan air asam tambang. Hasil dari penelitian ini adalah nilai awal pH 2,98 setelah percobaan meningkat menjadi 5,72.

3.7. Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Sintesis Dikombinasikan Abu Terbang Dan Abu Dasar

Berdasarkan literature review pengelolaan air asam tambang menggunakan zeolit sintesis dikombinasikan abu terbang dan abu dasar menggunakan sistem batch dengan suhu 35°C dan 45°C memasukkan 2 gram zeolit sintetis di dalam 200 ml air asam tambang yang telah disiapkan. Zeolit yang digunakan sebagai adsorben yaitu zeolit pada waktu kontak 8 jam dan 24 jam. Proses penyerapan dilakukan dengan cara diaduk 200 rpm, pH 5 dengan waktu kontak 40 menit. Air asam tambang setelah adsorpsi disaring menggunakan kertas saring dan air asam tambang setelah adsorpsi dianalisis menggunakan alat *Spektrofotometri Serapan Atom* (AAS). Pada penelitian ini waktu kontak yang menyebabkan adanya perbedaan karakteristik dari zeolit yang dihasilkan. Derajat kristalinitas zeolit sintetis dengan waktu kontak 8 jam dan 24 jam masing-masing sebesar 85,71% dan 95,98%. Pengujian adsorpsi menunjukkan bahwa kedua jenis zeolit mampu menyerap logam berat di atas 99%.

3.8. Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit, Kapur Tohor Dan Tawas

Pengelolaan air asam tambang menambahkan zeolit, kapur tohor dan tawas kedalam kolam pengendapan. Kualitas air asam tambang setelah penambahan kapur tohor, tawas dan zeolite telah memenuhi baku mutu lingkungan. Penelitian ini melakukan percobaan sebanyak 10 kali dengan dosis yang telah disiapkan dan masing-masing dari kapur tohor, tawas dan zeolit dengan air sebanyak 500 mlsebanyak 0,1 gram. Penelitian ini menganalisis jumlah kebutuhan zeolit, kapur tohor dan tawas yaitu jika menggunakan zeolit 31,968 kg/hari, jika menggunakan kapur tohor 19,180 kg/hari dan jika tawas 19,180 sehingga biaya yang dibutuhkan dalam menetralkan air asam tambang pada penelitian ini jika menggunakan zeolit adalah Rp 223,776/hari, jika kapur tohor adalah Rp 172.627/hari, jika menggunakan tawas adalah Rp 190.180,8/hari. pH diukur menggunakan pH meter dan TDS di ukur menggunakan TDS meter.

3.9. Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Alam Dan Zeolit Sintesis

Berdasarkan literature review penelitian ini menggunakan adsorben zeolit alam dan zeolit sintesis untuk pengelolaan air asam tambang. Pada Penelitian ini membandingkan penggunaan zeolit alam dan zeolit hasil sintesis untuk penyisihan logam berat menggunakan adsorben zeolit alam yang dibuat dengan metode aktivasi kimia dengan penambahan NaOH. Sedangkan zeolit yang disintesis dibuat dari abu terbang batubara dengan dua proses menggunakan metode fusi dan Eksperimen adsorpsi, penelitian ini menggunakan sistem batch untuk mengamati parameter yang mempengaruhi seperti dosis adsorben, waktu kontak, isotherm adsorben dan kinetika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektifitas penyisihan logam berat zeolit alam 93,98% dan zeolit hasil sintesis adalah 98,16%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa zeolit hasil sintesis memiliki efisiensi adsorpsi yang baik. Zeolit alam dan zeolit sintetik memiliki potensi besar sebagai bahan yang berkelanjutan dan ekonomis untuk menghilangkan logam berat dari air asam tambang. Zeolit hasil sintesis memiliki efisiensi adsorpsi yang baik.

Pada pengelolaan air asam tambang dengan metode ini sebelum zeolit alam digunakan untuk adsorpsi, zeolit alam diaktivasi dengan NaOH dan Zeolit yang disintesis dari abu terbang batubara menggunakan metode sintesis dua langkah. Sifat fisik zeolit hasil sintesis dan zeolit alam membuktikan bahwa proses sintesis telah mengubah dan meningkatkan mineralogi. Zeolit hasil sintesis lebih efisien dalam menghilangkan logam berat karena kandungan silikanya banyak ditemukan di dalamnya.

Tabel 2. Kelebihan dan kekurangan metode

Referensi	Metode	Kelebihan	Kekurangan	Efektivitas
[1]	Zeolit dan Kapur Tohor	Meningkatkan kualitas air asam tambang	Mebutuhkan bahan kimia yang banyak dan biaya yang tinggi	92 %
[2], [3], [4], [6], [7], [8], [9], [11], [16], [18],	Zeolit Alam	Tidak membutuhkan biaya yang mahal	Efektivitas rendah	97,51 %
[5]	Zeolit Dan Limestone	Tidak membutuhkan biaya yang mahal	Mebutuhkan material yang banyak	80%
[10]	Zeolit, Tempurung Kelapa Dan Karbon Aktif	Kemampuan dalam menyerap logam berat tinggi	Mebutuhkan energy yang cukup besar	99%
[12]	Zeolit Sintetik, Fly Ash Batubara Dan Klinker Alam	Mampu menyerap logam berat	membutuhkan pengawasan yang intens	70%
[13]	Zeolit dan bakteri	Efektivitas tinggi	Mebutuhkan bahan kimia secara terus menerus dan membutuhkan pengawasan	89,72 %
[14]	Zeolit sintesis, abu terbang dan abu dasar	Efektifitas penyerapan tinggi	Mebutuhkan material yang banyak	99,95 %
[15]	Zeolit, kapur tohor dan tawas	Meningkatkan kualitas air asam tambang	Mebutuhkan bahan yang banyak	92%
[17]	Zeolit Alam Dan Zeolit Sintesis	Kemampuan dalam menyerap logam berat tinggi dan ekonomis	Mebutuhkan pengawasan yang intens dan biaya yang cukup tinggi	99

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan kajian dari beberapa studi literatur yang berkaitan dengan pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan zeolit yang dikombinasikan dengan berbagai adsorben lainnya yang berasal dari berbagai negara dapat ditarik kesimpulan bahwa metode yang efektif dalam pengelolaan air asam tambang adalah pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan zeolit sintesis, abu terbang dan abu dasar. Sedangkan metode yang efisien dalam pengelolaan air asam tambang adalah metode zeolit alam yang hemat biaya dibandingkan dengan metode lainnya dikarenakan tanpa ada tambahan bahan kimia secara terus menerus.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan paper ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak khususnya kepada Prodi Magister Teknik Pertambangan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Adha.C.W., Ramli. M., Dan Thamrin. M. (2017), Analisis Efektivitas Kapur Tohor Dan Zeolit Untuk Peningkatan Ph Dan Penurunan Kandungan Logam Fe Dan Cu Pada Pengolahan Air Asam Tambang, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV*. Samarinda.
- Elizabeth.T. Jufrodi., Hudaeni. (2015). Adsorpsi Logam Berat Besi Dan Timbal Menggunakan Zeolit Alam Bayah Teraktivasi. *Jurnal Chemtech* Vol 1 No 1, Hal 26-29.
- Emelda.L., Putri.S.M., Dan Ginting.S.BR. (2013). Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi Untuk Adsorpsi Logam Cr^{3+} . *Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*.Vol.9, No 4, hal. 166-172.
- Hernawan, wahono.K.S, Maryana.R, Dan Pratiwi.D. (2015). Modification of Gunungkidul Natural Zeolite as Bioethanol Dehydrating Agents. *Energy Procedia* hal 116 – 120. haldoi: 10.1016/j.egypro.2015.01.042.
- Hilwan.,F., Badhuraahman.,A., Dan Kusuma. G.J Dan Gautama. R.S. (2022) Kinerja Penetralan Air Asam Tambang Pada Open Limestone Channel Dengan Penambahan Zeolit. *Jurnal Pertambangan*. Volume 6. No 3. Hal 142-150.
- Kadja, G. T. M., And Ilmi, M. M. (2019). Indonesia Natural Mineral For Heavy-Metal Adsorption: A Review. *Journal Of Environmental Science And Sustainable Development*, Volume 2, Issue 2, ISSN: 2655-6847, hal 139-164.
- Motsi.T. (2010). Remediation Of Acid Mine Drainage Using Natural Zeolite. *Tesis*. University Of Birmingham United Kingdom.
- Munandar.A. (2014) *Adsorpsi Logam Pb Dan Fe Dengan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sulfat*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Ngapa.D.Y. And Gago.J.(2019). Adsorpsi Ion Pb (II) Oleh Zeolit Alam Ende Teraktivasi Asam: Studi Pengembangan Mineral Alternatif Penjerap Limbah Logam Berat. *Jurnal Cakra Kimia*. Vol 7, Nomor 2, hal 84-91.
- Paradise, M., 2020. Adsorpsi Logam Berat (Fe) Dan Mangan (Mn) Menggunakan Komposit Claystone, Zeolit, Dan Arang Aktif Tempurung Kelapa Pada Sampel Air Asam Tambang. *Tesis*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Poerwadio.A.D Dan Masduqi.A. (2004). Penurunan Kadar Besi Oleh Media Zeolit Alam Ponorogo Secara Kontinyu. *Purifikasi*. Vol 5, No 4, hal 169-174.
- Rios.C.A., Williams.C.D., Dan Roberts.C.L. (2008). Removal Of Heavy Metals From Acid Mine Drainage (AMD) Using Coal Fly Ash, Natural Clinker And Synthetic Zeolites. *Journal Hazardous Material* 156 Hal 23-35.
- Sari.D.K., Kusniawati E., Dan Srimardani. R. (2020). Peningkatan Kualitas Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Dan Bakteri Sebagai Media Adsorpsi Dengan Metode Sedimentasi Secara Anaerob Di Pt Bukit Asam, Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Patra Akademia.*, Volume 11, No 1, Hal 13-21.
- Setiawan.A, Rahmadania.A.N, Mayangsari.N.E.(2021) Adsorpsi Cu(II) Menggunakan Zeolit Sintesis Kombinasi Abu Terbang Dan Abu Dasar Dengan Variasi Waktu Aging. *Riset Teknologi Industri*. Vol 15,No 1, hal 113-124.
- Wahyudi. A, Rahmi. H, Putra. Dan J.CE. (2020). Analisis Pengaruh Kapur Tohor, Tawas Dan Zeolite Terhadap Parameter TSS Dan pH Pada Penetralan Air Asam Tambang CV. Tahiti Coal. *jurnal Sains Dan Teknologi*. E-ISSN ; 2615-2827.
- Wingenfelder.U, Hansen. C, Furrer. G And Schulin. R. (2005). Removal Of Heavy Metals From Mine Water By Natural Zeolites. *Environmental Science & Technology*. Vol 39, No 12 hal 4606-4613.
- Wulandari.E., Hidayat. A.E Dan Moersidik.S.S. (2011). Comparison Of Copper Adsorption Effectivity In AcidMine Drainage Using Natural Zeolite And Synthesized Zeolite. *IOP Conf Series Eart And Environmental Science.*, Doi: 10.1088/1755-1315/473/1/012143
- Yulianis, Husna.R, Zulva.N.DI. Dan Mahidin. (2022). Adsorpsi Ion Logam Fe^{3+} Dalam Air Asam Tambang Menggunakan Nano Zeolit Alam. *Indonesian mining professionals*. Vol 4, No 1, hal 29-38.