



## Penetralan pH Air Asam Tambang Menggunakan Metode Pasif *Open Limestone Channel* dengan Penambahan *Fly Ash*, Zeolite, dan Pasir Silika Pada Pengujian Skala Laboratorium

Rizky Ananda, Rusli HAR\*, Heri Prabowo, Harizona Aulia Rahman

Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Indonesia

### Abstrak

Air Asam Tambang memiliki pH yang rendah dengan kandungan logam terlarut yang tinggi. Kondisi ini apabila tidak dilakukan pengelolaan akan memberikan dampak buruk bagi lingkungan, seperti turunnya kualitas air sungai sehingga mengganggu ekosistem sungai terutama. Untuk itu penelitian ini perlu dilakukan dengan berfokus pada upaya penetralan pH air asam tambang atau air tambang dengan memanfaatkan cara pengelolaan pasif yaitu saluran kapur terbuka batu kapur (*Open Limestone Channel*) dengan memodifikasi melalui penambahan beberapa bahan yang dianggap mampu menetralkan pH berdasarkan penelitian sebelumnya seperti pencampuran air asam tambang dengan *fly ash*, penambahan zeolit pada saluran *open limestone channel*, dan pemanfaatan pasir silika sebagai penyaring air sehingga dapat meningkatkan pH air yang ada. Nilai pH awal air asam tambang yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan pH 3,75, dan dari hasil pengujian yang dilakukan diperoleh nilai rata-rata pH akhir sebesar 6,59 dan efisiensi peningkatan pH dari pH awal pada setiap pengujianya dengan rata-rata 76%.

**Kata kunci:** *Open Limestone Channel*; penetralan pH; Air Asam Tambang; lingkungan; Metode Pasif

### Abstract

*Acid Mine Drainage has a low pH and a high dissolved metal content. This condition if not managed will have a negative impact on the environment, such as a decrease in the quality of river water, which will disrupt the river ecosystem in particular. For this reason, this research needs to be carried out by focusing on efforts to neutralize the pH of acid mine water or mine water by utilizing passive management methods, namely the open limestone channel (Open Limestone Channel) by modifying it through the addition of several materials that are considered capable of neutralizing pH based on previous research such as mixing acid mine water with fly ash, adding zeolite to the open limestone channel, and utilizing silica sand as a water filter so as to increase the pH of existing water. The initial pH value of acid mine water used in this study was 3.75, and from the results of the tests carried out, an average final pH value of 6.59 was obtained, and the efficiency of increasing pH from the initial pH in each test averaged 76%.*

**Keywords:** *Open Limestone Channel, pH neutralization, Acid Mine Drainage, environment, Passive Method*

---

\*) Korespondensi : ruslihar@ft.unp.ac.id

Diajukan : 12 Januari 2024

Diterima : 26 September 2024

Diterbitkan : 24 Oktober 2024

## PENDAHULUAN

Indonesia dengan kekayaan bahan tambangnya yang melimpah ternyata tidak hanya memiliki banyak dampak positif, bahkan dapat turut membawa dampak negatif yang tidak sedikit. Satu di antara efek negatif pertambangan adalah munculnya *Acid Mine Drainage* (AMD) yaitu air dengan kandungan tingkat asam yang tinggi akibat dari hasil kegiatan penambangan dan memiliki konsentrasi logam terlarut yang tinggi atau disebut juga air asam tambang (AAT) (Herniwati, 2020; Prabowo 2019). Proses pengelolaan air asam tambang sendiri turut dipengaruhi oleh proses atenuasi alami yang pada dasarnya proses ini merupakan proses pengurangan kontaminan pencemaran (Rahman, 2018). Efek pencemaran air asam tambang ini akan menyebabkan dampak yang bermacam-macam mulai dari gatal-gatal, muntah, kanker, dan pada jangka panjang logam berat yang terkandung mampu merusak kondisi tubuh terutama organ yang berujung hilangnya nyawa. Akan semakin buruk jika warga mengkonsumsi ikan yang terkontaminasi zat polutan ini, karena logam ini tak bisa dinetralisir tubuh.

Penelitian-penelitian terus dikembangkan untuk meminimalkan atau menetralkan dampak dari rendahnya pH air asam tambang, beberapa contohnya dalam risetnya Samosir (2021), memanfaatkan penggunaan *fly ash bottom ash* dan tawas untuk menetralkan air asam tambang. Menggunakan 1 gr *FABA* pada air asam tambang dengan volume 200 ml, pH air dari 3,72 naik menjadi 7,3. Penggunaan massa tawas yang semakin besar justru malah membuat pH air asam tambang semakin turun yaitu dari pH 3,72 menjadi pH 3,68. Kemudian dari kombinasi *FABA* + tawas perbandingan 5 : 0,30 pH naik menjadi 7,71. Nurfasihani & Kusuma (2020), pada risetnya menggunakan simulasi pengelolaan air asam tambang dengan metode *open limestone channel* pada skala laboratorium dengan pH awal 2,44 menghasilkan nilai pH dengan rentang 2,93-3,40 pada ukuran butir besar (11 mm), untuk butir sedang (7,12 mm) pH berkisar dari 5,72-6,53, sedangkan pada ukuran butir kecil (4,05 mm) nilai pH berkisar dari 6,25-6,51.

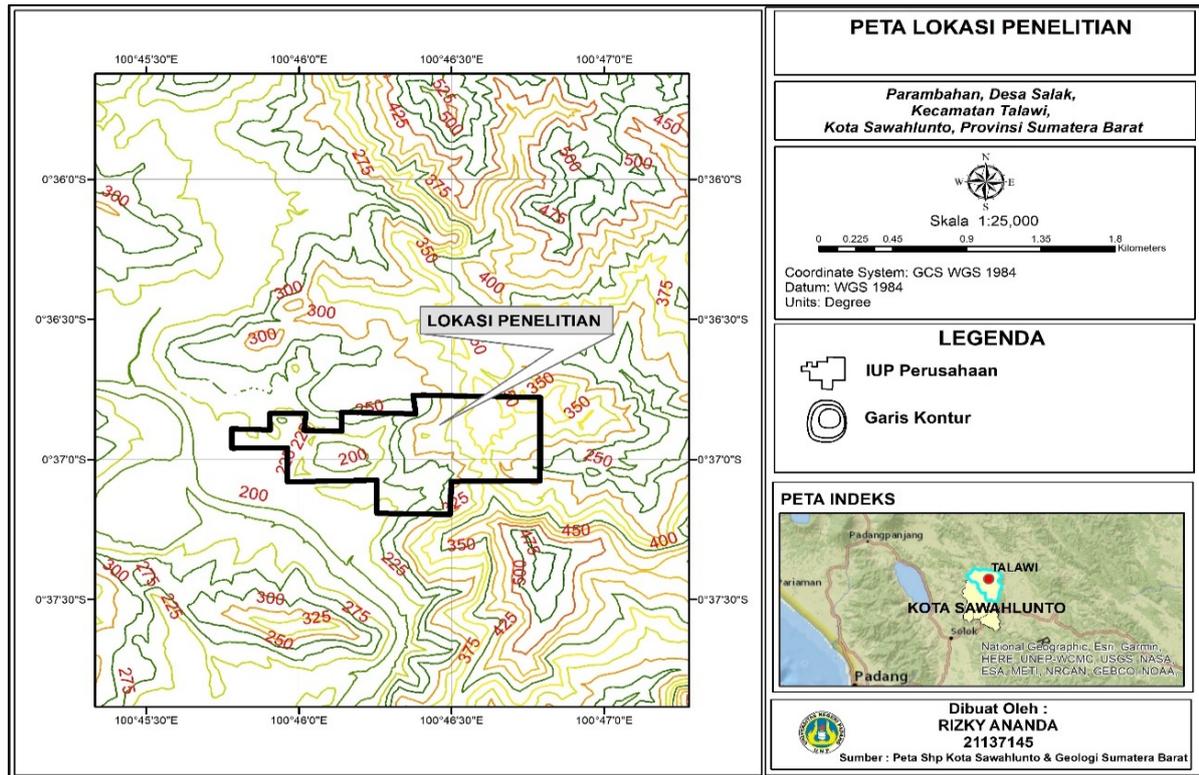
Pada risetnya Hilwani dkk. (2022), melakukan uji kinerja penetralan air asam

tambang pada *open limestone channel* dengan penambahan zeolit. Riset ini memanfaatkan air asam tambang sintetis dengan pH 2,5 dan menyimpulkan penggunaan kombinasi batu kapur dan zeolit memperoleh nilai pH 7,92 pada pangkal saluran dan 7,20 pada akhir saluran.

Artidarma dkk. (2021), mencoba menggunakan metode saringan pasir lambat (SPL) dengan ketebalan pasir 110 cm sebagai penyaring air Sungai Kapuas, dan nantinya akan dilakukan analisis mutu. Menggunakan metode *down flow*, pH sebelum perlakuan adalah 5,6 serta hasil dari penyaringan dengan memakai pasir tepi pantai 1, pasir tepi pantai 2, pasir silika 1, serta pasir silika 2 nilai pH air naik menjadi 7; 6,9; 7,1; 6,9. Pada kekeruhan bernilai 35,2 NTU dan hasil dari penyaringan bernilai (1,21; 1,7; 16,0; 2,87) NTU. Nilai TDS sebelum penyaringan 122,4 mg/l dan setelah penyaringan (90,5; 88,1; 127,5; 80,5) mg/l. Parameter zat organik awal 102,71 dan setelah penyaringan 77,92; 63,82; 98,99; 98,17.

Guna meminimalkan atau mencegah efek buruk dari limbah pertambangan ini perlu dikembangkan upaya baru dalam pengelolaan air asam tambang. Maka dari itu penulis ingin melakukan uji coba dengan mengkombinasikan beberapa bahan berdasarkan riset sebelumnya yang telah teruji mampu menaikkan pH air asam tambang kedalam sebuah metode pengolahan air asam tambang yakni, *open limestone channel*. Beberapa bahan yang akan penulis gunakan pada penelitian ini adalah *fly ash*, batu kapur, zeolit, dan pasir silika yang nantinya akan lakukan pada skala laboratorium atau skala kecil.

Penelitian ini dilakukan disalah satu kolam air asam tambang perusahaan pertambangan batubara di Kota Sawahlunto dengan memanfaatkan air asam yang terbentuk secara alami sebagai bahan uji. Berdasarkan hasil observasi posisi kolam air asam tambang ini sendiri berada pada area *stockpile* batubara milik perusahaan, kondisi air yang tidak selalu kontinu dialirkan menyebabkan terjadinya pengendapan air yang pada akhirnya memicu terjadinya penurunan pH air, pada kondisi yang dialami perusahaan didapati nilai pH air pada kolam memiliki pH 3,75 yang artinya sudah dibawah nilai ambang batas baku mutu. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

## METODOLOGI

### Metode Pengujian

Pengujian ini menggunakan metode pasif *open limestone channel* atau saluran terbuka batu kapur yang merupakan salah satu metode pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan batu kapur selaku bahan penetral. Batu kapur akan di tumpuk pada saluran dan nantinya akan terlarut oleh air asam serta membawa alkalinitas yang berguna untuk meningkatkan nilai pH dari air (Nurfasiha & Kusuma, 2020). Ilustrasi *open limestone channel* dapat dilihat pada Gambar 2.

### Spesifikasi Bahan Uji

Pada pengujian ini akan dilakukan tiga kali uji coba dengan menggunakan sebuah *treatment* dengan kombinasi bahan uji yang telah direncanakan dalam hal ini disebut Kombinasi A (A-0, A-1, dan A-2). Bahan uji akan dilakukan penyesuaian ukuran dengan dipecahkan dan nantinya akan dilakukan uji ayakan untuk memperoleh sebaran ukuran bahan uji, setelah itu bahan uji akan dicuci dan dijemur untuk menghilangkan pengotor serta kadar air sehingga dapat memaksimalkan penetralan. Kemudian ditimbang menyesuaikan kebutuhan pada



Gambar 2. Ilustrasi *Open Limestone Channel* (Skousen *et al*, 2016)

Tabel 1. Spesifikasi Bahan Uji

Nama Bahan	Ukuran (mm)	Berat (gr)	Gradien Saluran
Air Asam	-	-	
Tambang	-	-	
<i>Fly Ash</i> + AAT	-	100	
Zeolit (A)	16-25	1500	
Zeolit (B)	8-16	1500	5 <sup>0</sup>
Pasir silika (A)	1,18-2,36	2200	
Pasir silika (B)	0,6-2	2200	
Batu kapur (A)	1,18-3,35 & 25	2400	
Batu kapur (B)	4-19	2400	



Gambar 3. (a) Fly Ash, (b) Pasir Silika, (c) Batu Kapur, (d) Batu Zeolit



Gambar 4. Kolam Air Asam Tambang

Tabel 2. Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Batubara (Keputusan Menteri LH No.113 Tahun 2003)

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan/ Pencucian
Derajat Keasaman (pH)		6-9	6-9
Residu Tersuspensi	mg/l	400	200
Besi (Fe) Total	mg/l	7	7
Mangan (Mn) Total	mg/l	4	4

kompartemen uji. Untuk spesifikasi bahan uji dapat dilihat pada Tabel 1 dan ilustrasi bahan uji dapat dilihat pada Gambar 3.

Air asam tambang yang digunakan pada penelitian ini menggunakan air asam tambang yang terbentuk secara alami pada kolam penampungan disalah satu perusahaan pertambangan batubara di Kota Sawahlunto. Ilustrasi kolam air asam tambang dapat dilihat pada Gambar 4.

### Skema Pengujian

Saluran *open limestone channel* akan menggunakan talang air PVC 4 inc sepanjang  $\pm$  2,4 m, pada talang air akan dibagi menjadi beberapa kompartemen dan diberikan sekat pembagi antar kompartemen menggunakan bagian sisa dari talang air dengan ukuran sekat 12x7 cm, yang tujuannya adalah untuk menahan material uji agar tidak

tercampur atau masuk ke kompartemen lain, kemudian agar memaksimalkan waktu kontak antara bahan uji dengan air asam tambang.

Pada saluran atau alat uji akan diposisikan pada kemiringan  $5^{\circ}$  yang ditujukan untuk memaksimalkan kontak bahan uji melalui pengendalian kecepatan aliran air, selain itu kemiringan ini juga mensimulasikan kondisi topografi, untuk mengukur kemiringan yang direncanakan akan menggunakan bantuan inclinometer.

Air asam tambang pada kompartemen 1 akan dialirkan menggunakan pompa mini menuju kompartemen 2, pada kompartemen 2 akan diberikan aerator untuk membantu pencampuran air asam tambang dengan *fly ash*, kemudian air asam tambang dari kompartemen 2 mengalir ke kompartemen berikutnya dan akan bereaksi dengan bahan uji hingga kompartemen akhir. Pada setiap kompartemen akan dilakukan pengambilan sampel untuk diukur nilai pHnya. Ilustrasi skema pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.

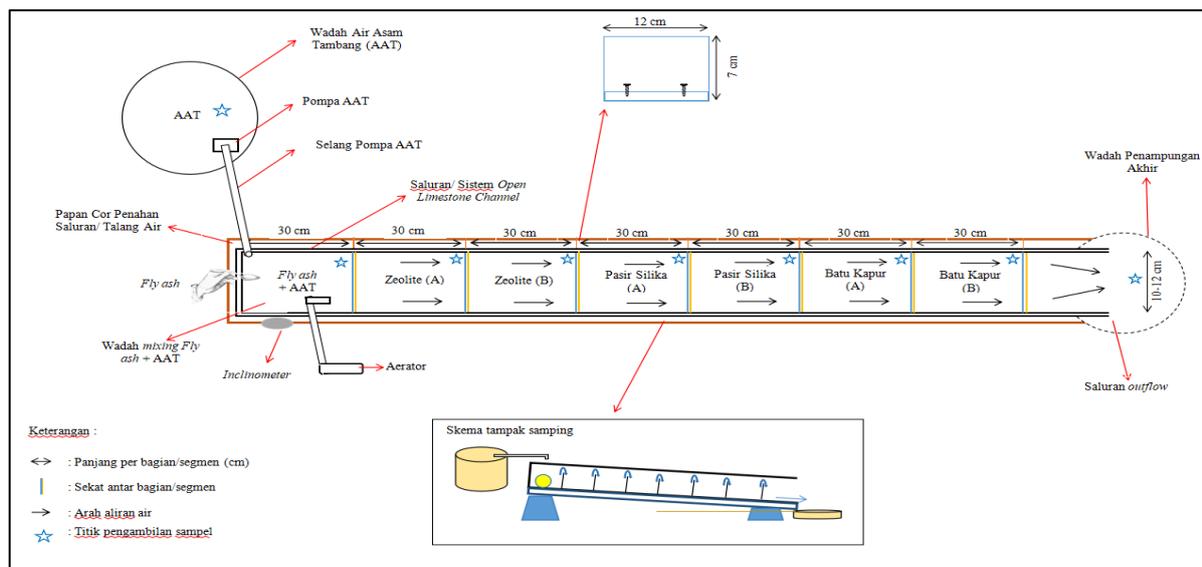
### Analisis Data

Dari hasil pengujian dan pengukuran akan dilakukan analisis dengan mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Batubara yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Adapun analisis yang akan dilakukan adalah mengukur nilai pH pada masing-masing kompartemen pada *treatment* pengujian dengan menggunakan pH meter dan kertas lakmus. Ilustrasi pengukuran nilai pH dapat dilihat pada Gambar 6 dan untuk ilustrasi pengujian dapat dilihat pada Gambar 7.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan pada *treatment* ini dilakukan sebanyak 3 kali. Beberapa perlakuan yang diberikan pada *treatment* ini antara lain dengan membuat kemiringan saluran atau



Gambar 5. Skema Pengujian (Modifikasi dari Nurfasiha dan Kusuma, 2020; Hilwani dkk, 2022)



Gambar 6. Pengukuran Nilai pH AAT



Gambar 7. Pengujian Penetralkan pH AAT

kompartemen sebesar 5<sup>0</sup>, kemudian pada kompartemen 2 yang merupakan kompartemen tempat terjadinya proses pencampuran air asam tambang dengan *fly ash* selain pencampuran dilakukan dengan bantuan aerator, juga dilakukan pengadukan secara manual dengan tujuan memaksimalkan pencampuran dan meminimalkan endapan *fly ash*.

### Nilai pH Air Asam Tambang Kombinasi A-0

Pada uji coba Kombinasi A-0 ditemukan adanya peningkatan nilai pH air asam tambang pada kompartemen 2 (A1) dengan penambahan *fly ash* terbukti mampu menaikkan pH air asam tambang dari pH 3,75 menjadi pH 3,98. Kemudian dari kompartemen 2 (A1) air asam tambang berkontak lagi dengan zeolit pada kompartemen 3 (A2) dan kompartemen 4 (A3) pada kompartemen ini pH air asam tambang naik dari 3,98 menjadi 4,01 dan 4,28. Dari kompartemen 4 (A3) air asam tambang kemudian berkontak dengan pasir silika pada kompartemen 5 (A4) dan kompartemen 6 (A5), nilai pH dari 4,28 naik menjadi 6,86 dan 7,39.

Kontak selanjutnya adalah dengan batu kapur yang ada pada kompartemen 7 (A6) dan kompartemen 8 (A7) dengan pH sebelumnya 7,39 naik menjadi 7,48 dan 7,57. Namun, pada kompartemen 9 (A8) yaitu kompartemen akhir tanpa bahan uji ditemukan adanya penurunan nilai pH dari 7,57 pada kompartemen 8 (A7) menjadi 6,69 pada kompartemen 9 (A8). Hasil rekap pengukuran nilai pH dilihat pada Tabel 3.

### Nilai pH Air Asam Tambang Kombinasi A-1

Pada uji coba Kombinasi A-1 ditemukan adanya peningkatan nilai pH air asam tambang pada kompartemen 2 (A11) dengan penambahan *fly ash* terbukti mampu menaikkan pH air asam tambang dari pH 3,75 menjadi pH 4,01. Kemudian dari kompartemen 2 (A11) air asam tambang berkontak lagi dengan zeolit pada kompartemen 3 (A21) dan kompartemen 4 (A31) pada kompartemen ini pH air asam tambang naik

dari 4,01 menjadi 4,91 dan 5,08. Dari kompartemen 4 (A31) air asam tambang kemudian berkontak dengan pasir silika pada kompartemen 5 (A41) dan kompartemen 6 (A51), nilai pH dari 5,08 naik menjadi 7,03 dan 7,3. Lalu kontak selanjutnya adalah dengan batu kapur yang ada pada kompartemen 7 (A61) dan kompartemen 8 (A71) dengan pH sebelumnya 7,3 didapati pH stabil pada kompartemen 7 (A61) 7,3 dan pada kompartemen 8 (A71) terjadi penurunan nilai pH menjadi pH 7,21. Pada kompartemen 9 (A81) yaitu kompartemen akhir tanpa bahan uji terjadi penurunan nilai pH lagi dari 7,21 pada kompartemen 8 (A71) menjadi 6,24 pada kompartemen 9 (A81). Hasil rekap pengukuran nilai pH dapat dilihat pada Tabel 3.

### Nilai pH Air Asam Tambang Kombinasi A-2

Pada uji coba Kombinasi A-2 ditemukan adanya peningkatan nilai pH air asam tambang pada kompartemen 2 (A12) dengan penambahan *fly ash* terbukti mampu menaikkan pH air asam tambang dari pH 3,75 menjadi pH 4,01. Kemudian dari kompartemen 2 (A12) air asam tambang berkontak lagi dengan zeolit pada kompartemen 3 (A22) dan kompartemen 4 (A32) pada kompartemen ini pH air asam tambang naik dari 4,01 menjadi 4,37 dan 4,91. Dari kompartemen 4 (A32) air asam tambang kemudian berkontak dengan pasir silika pada kompartemen 5 (A42) dan kompartemen 6 (A52), nilai pH dari 4,91 naik menjadi 7,3 dan 7,66. Lalu kontak selanjutnya adalah dengan batu kapur yang ada pada kompartemen 7 (A62) dan kompartemen 8 (A72) dengan pH sebelumnya 7,66 diperoleh bahwa pH stabil pada pH 7,66 dan

7,66. Namun, pada kompartemen 9 (A82) yaitu kompartemen akhir tanpa bahan uji ditemukan adanya penurunan nilai pH dari 7,66 pada kompartemen 8 (A72) menjadi 6,86 pada kompartemen 9 (A82). Hasil rekap pengukuran nilai pH dapat dilihat pada Tabel 3. Ilustrasi sampel yang diukur nilai pH dapat dilihat pada Gambar 8.

Dapat kita lihat dari 3 kali pengujian pada *treatment* ini (Tabel 2) terjadi kenaikan pH air asam tambang dari kompartemen 1 hingga kompartemen 8. Nilai pH puncak dari 3 kali percobaan yaitu, untuk Kombinasi A-0 nilai pH puncaknya adalah 7,57 yang berada pada kompartemen 8, kemudian untuk Kombinasi A-1 nilai pH puncaknya adalah 7,3 yang dicapai pada kompartemen 6, dan untuk Kombinasi A-2 nilai pH puncaknya adalah 7,66 yang dicapai pada kompartemen 6. Namun, pada kompartemen 9 yang merupakan hasil akhir, nilai pH air asam tambang dari 3 kali pengujian semuanya mengalami penurunan dari pH 7 yaitu



Gambar 8. Sampel Hasil Pengujian

Tabel 3. Rekap Hasil Pengukuran Nilai pH

Nama Bahan Uji	Kode Sampel	Hasil Pengukuran pH		Kode Sampel	Hasil Pengukuran pH		Kode Sampel	Hasil Pengukuran pH	
		pH Meter	Kertas Lakmus		pH Meter	Kertas Lakmus		pH Meter	Kertas Lakmus
Air Asam Tambang	A0	3.75	3	A01	3.75	4	A02	3.75	4
Air Asam Tambang + Fly Ash	A1	3.93	3	A11	4.01	4	A12	4.01	4
Zeolit (A)	A2	4.01	4	A21	4.91	5	A22	4.37	4
Zeolit (B)	A3	4.28	4	A31	5.08	5	A32	4.91	4
Pasir Silika (A)	A4	6.86	6	A41	7.03	7	A42	7.3	7
Pasir Silika (B)	A5	7.39	7	A51	7.3	7	A52	7.66	7
Batu Kapur (A)	A6	7.48	7	A61	7.3	7	A62	7.66	7
Batu Kapur (B)	A7	7.57	7	A71	7.21	7	A72	7.66	7
Hasil Akhir	A8	6.69	6	A81	6.24	6	A82	6.86	7

**Tabel 4.** Hasil Analisis Efisiensi Peningkatan Nilai pH

Kombinasi	Hasil Pengukuran pH Awal		Hasil Pengukuran pH Akhir		Efisiensi Peningkatan pH		
	pH Meter	Kertas Lakmus	pH Meter	Kertas Lakmus	Per Uji Coba	Rata-rata	
A-0			6,69	6	78%		
A	A-1	3,75	3	6,24	6	66%	76%
	A-2			6,86	7	83%	

7,57; 7,21; 7,66 turun menjadi pH 6 yaitu 6,69; 6,24; 6,86. Kemungkinan yang dapat menjadi penyebab turunnya nilai pH pada kompartemen akhir disebabkan oleh mulai berkurangnya kandungan material atau zat yang bersifat alkali atau basa, dan berkontakannya kembali air asam tambang dengan oksigen sehingga memungkinkan terjadinya oksidasi, yang mana pada kompartemen akhir tidak ditambahkan bahan uji yang bersifat basa. Selain dugaan ini, menurut (Novianti dalam Octiana dkk., 2015), penurunan nilai pH diduga dapat terjadi karena adanya ikatan kimia senyawa *gypsum*, yang merupakan senyawa residu dari hasil pengapuran dengan CaO yang menyebabkan air menjadi asam kembali.

Air asam tambang perlu memiliki nilai alkalinitas sebagai sistem penyangga untuk mempertahankan nilai pH agar tidak kembali menjadi asam (Octiana dkk., 2015). Selain itu menurut (Firman dkk., 2021) kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) yang memiliki nilai transfer mol positif sehingga dapat menyebabkan terjadi reaksi pelarutan kalsit oleh air asam yang akan menghasilkan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Konsentrasi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) terlarut dalam air ini menjadi faktor yang dapat mempengaruhi atau menyebabkan turunnya nilai pH. Namun, karbon dioksida terlarut (DC) juga dimanfaatkan untuk mempercepat pelarutan batu kapur dengan memaksa reaksi antara  $\text{CaCO}_3$  dengan  $\text{CO}_2$  untuk membentuk produk bikarbonat (Watten *et al*, 2005).

#### Efisiensi Peningkatan Nilai pH Air Asam Tambang

Berikut ini akan membahas bagaimana efisiensi peningkatan nilai pH air asam tambang sebelum dan sesudah *treatment*. Hasil analisisnya dapat dilihat pada Tabel 4 yang diperoleh dengan menghitung nilai persentase peningkatan nilai pH setelah pengujian terhadap nilai pH sebelum pengujian. Hasil analisis dari tiga kali pengujian

memperoleh nilai efisiensi rata-rata peningkatan nilai pH yaitu 76% dari nilai pH awal sebelum pengujian. Dan dari tiga kali pengujian yang dilakukan nilai pH air asam tambang telah mencapai nilai baku mutu yang dipersyaratkan yaitu pada rentang pH 6-9 (Tabel 2).

#### KESIMPULAN

Dari tiga kali pengulangan pengujian yang dilakukan, *treatment* dengan kombinasi ini dinilai telah mampu meningkatkan pH air asam tambang hingga rentang baku mutu, perlakuan yang diberikan turut mempengaruhi hasil yang diperoleh, selain itu beberapa faktor lain penyebab penurunan nilai pH diduga karena ikatan kimia senyawa *gypsum*, pengaruh konsentrasi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), yang mengganggu efisiensi penetralan bahan uji.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada semua pihak yang membantu pada proses penelitian ini baik pada perizinan, ketersediaan tempat, arahan, pengambilan sampel, hingga pengujian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Artidarma, B.S., Fitria, L., Sutrisno, H. (2021). Pengolahan Air Bersih dengan Saringan Pasir Lambat Menggunakan Pasir Pantai dan Pasir Kuarsa. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 9(2), hal.71-81. DOI: dx.doi.org/10.26418/jtlb.v9i2.47639
- Firman, Tehuayo, D.K., Jafar, N., Anwar, H., Bakri, S., Munir, A.S., Harwan, Nurhawaisyah, S.R., Yusuf, F.N. (2021). Analisis Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Penetralan Asam Menggunakan Batugamping Dengan Metode ABCC. *Jurnal Geomine*, 9(1), 65-72.
- Herniwanti. (2020). *Pengelolaan Limbah Air Asam Tambang (AAT)*. Nusa Tenggara Barat: Forum Pemuda Aswaja.

- Hilwani, F., Badhurahman, A., Kusuma, G.J., Gautama, R.S. (2022). Kinerja Penetralan Air Asam Tambang Pada *Open Limestone Channel* Dengan Penambahan Zeolit. *Jurnal Pertambangan*, 6(3), 142-150. DOI: doi.org/10.36706/jp.v6i3.1513
- Nurfasiha dan Kusuma, G.J. (2020). Simulasi Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan *Open Limestone Channel* Skala Abortorium. *Jurnal Geomine*, 8(1), 32-43.
- Octiana, E.R, Mahmud, Nirtha, Rd.I. (2015). Analisis Derajat Keasaman dan Oksigen Terlarut Pada Air Asam Tambang: Studi Kasus Void M4E-West di PT. Jorong Barutama Greston. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1), 74-82. DOI: dx.doi.org/10.20527/jukung.v1i1.1035
- Prabowo, H., Amran, A., Arbain, A. (2019). Decreasing level of heavy metals Fe and Mn use the wetland method at coal open mining PT Bukit Asam South Sumatra Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 314, 012023). DOI: 10.1088/1755-1315/314/1/012023
- Rahman, H.A., Putra, D.P.E., Hendrayana, H. (2018). Pemodelan Pergerakan Pencemar Airtanah oleh Hidrokarbon di Kelurahan Jlagran Kota Yogyakarta. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 1(3), 81-88. DOI: doi.org/10.14710/jgt.1.3.2018.81-88
- Samosir, G.B.G. 2021. Pemanfaatan *Fly Ash Bottom Ash* dan Tawas Untuk Menetralkan Air Asam Tambang. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Skousen, J., Zipper, C.E., Rose, A., Ziemkiewicz, P.F., Nairn, R., McDonald, L.M., Kleinmann, R.L. (2016). Review of Passive Systems for Acid Mine Drainage Treatment. *Mine Water and the Environment*, 36(1), hal.133-153. DOI: doi.org/10.1007/s10230-016-0417-1
- Watten, B.J., Sibrell, P.L., Schwartz, M.F. (2005). Acid neutralization within limestone sand reactors receiving coal mine drainage. *Environmental Pollution*, 137(2), hal.295-304. DOI: doi.org/10.1016/j.envpol.2005.01.026