

Overview Perbandingan Teknologi Alternatif Aktif Dan Pasif Dalam Pengelolaan Air Asam Tambang

Shahensah Anand Anggian Rambe¹, Nurkhamim²

¹⁾ Mahasiswa Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN

²⁾ Staf Pengajar Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN

Korespondensi : shahensahrambe@gmail.com

ABSTRAK

Pembentukan larutan asam kaya logam dikenal sebagai Air Asam Tambang (AAT) adalah masalah umum yang terkait dengan penambangan mineral dan batubara di Indonesia. AAT terbentuk ketika mineral sulfida seperti pirit (Fe_2S) yang ditemukan bercampur dengan batubara atau lapisan penutup berhubungan langsung dengan oksigen dan air selama fase operasional dan pasca penutupan tambang. Oleh karena itu, pengelolaan air asam tambang (AAT) perlu dilakukan agar air yang keluar dari area pertambangan yang masuk ke perairan tidak mencemari lingkungan. Alternatif pengelolaan AAT secara umum dibagi dua yaitu teknologi secara aktif dan teknologi secara pasif. Penulis melakukan perbandingan beberapa literatur untuk menganalisis metode alternatif aktif dan alternatif pasif, serta menentukan faktor yang mempengaruhi perubahan pH pada saat treatment. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa pemilihan metode pengelolaan AAT yang tepat tergantung pada tingkat efisiensi dalam pengolahan sifat kimia air termasuk pH, konsentrasi logam dan sulfat dalam meminimalisir biaya dan resiko pada lingkungan.

Kata Kunci: Air asam tambang, Alternatif aktif, Alternatif pasif

ABSTRACT

The formation of a metal-rich acid solution known as Acid Mine Drainage (AMD) is a common problem associated with mineral and coal mining in Indonesia. AMD is formed when sulfide minerals such as pyrite (Fe_2S) are found to be mixed with coal or overburden in direct contact with oxygen and water during the operational and post-mine closure phases. Therefore, the management of acid mine drainage (AMD) needs to be done so that the water that comes out of the mining area that enters the water does not pollute the environment. Alternative AMD management is generally divided into two, namely active technology and passive technology. The author conducted a comparison of several literatures to analyze active and passive alternative methods, and determine the factors that influence pH changes during treatment. From these results it was found that the selection of the appropriate AMD management method depends on the level of efficiency in the processing of water chemical properties including pH, metal and sulfate concentrations in minimizing costs and risks to the environment.

Keywords: Acid mine drainage, active alternative, passive alternative

1. PENDAHULUAN

Pertambangan mineral dan batubara merupakan industri penghasil pendapatan terbesar, tetapi beberapa dampak lingkungan timbul akibat aktivitas penambangan[1]. Pembentukan larutan asam kaya logam dikenal sebagai Air Asam Tambang (AAT) adalah masalah umum yang terkait dengan penambangan mineral dan batubara di Indonesia. AAT terbentuk ketika mineral sulfida seperti pirit (Fe_2S) yang ditemukan bercampur dengan batubara atau lapisan penutup berhubungan langsung dengan oksigen dan air selama fase operasional dan pasca penutupan tambang. Mineral sulfida mengalami proses oksidasi yang menghasilkan asam sulfat lemah (H_2SO_4) yang menggerakkan komponen batuan. AAT dicirikan oleh pH yang sangat rendah dan konsentrasi sulfat dan logam yang tinggi yang dapat berakibat fatal bagi lingkungan[2]. Pirit dapat terus menghasilkan lindi asam selama ratusan tahun setelah pengendapan jika tidak dikelola dengan baik[3].

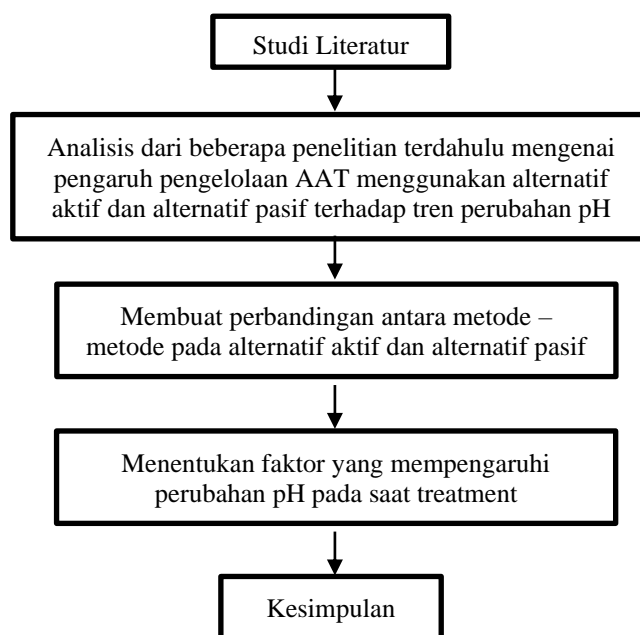
Pertambangan mineral dan batubara harus memenuhi standar baku mutu air limbah kegiatan penambangan menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 113 tahun 2003 pada lampiran 1, terutama yang berhubungan dengan air asam tambang (AAT). Oleh karena itu, pengelolaan air asam tambang (AAT) perlu dilakukan agar air yang keluar dari area pertambangan yang masuk ke perairan tidak mencemari

lingkungan. Alternatif pengelolaan AAT secara umum dibagi dua yaitu teknologi secara aktif dan teknologi secara pasif. Penulis melakukan komparasi beberapa literatur untuk mengetahui kelebihan dan keterbatasan dalam pengelolaan AAT, dan menganalisis faktor yang mempengaruhi perubahan pH pada saat treatment.

Penelitian ini bertujuan membandingkan metode – metode pada alternatif secara aktif dan pasif dalam penerapan pengelolaan AAT pada kasus pertambangan dari beberapa literatur kemudian merangkumnya menjadi sebuah komparasi kelebihan dan keterbatasan pada masing – masing metode.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur baik dalam jurnal nasional, maupun internasional, dengan membandingkan penelitian – penelitian tentang pengelolaan air asam tambang dengan berbagai metode. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui kelebihan dan keterbatasan masing – masing metode. (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL

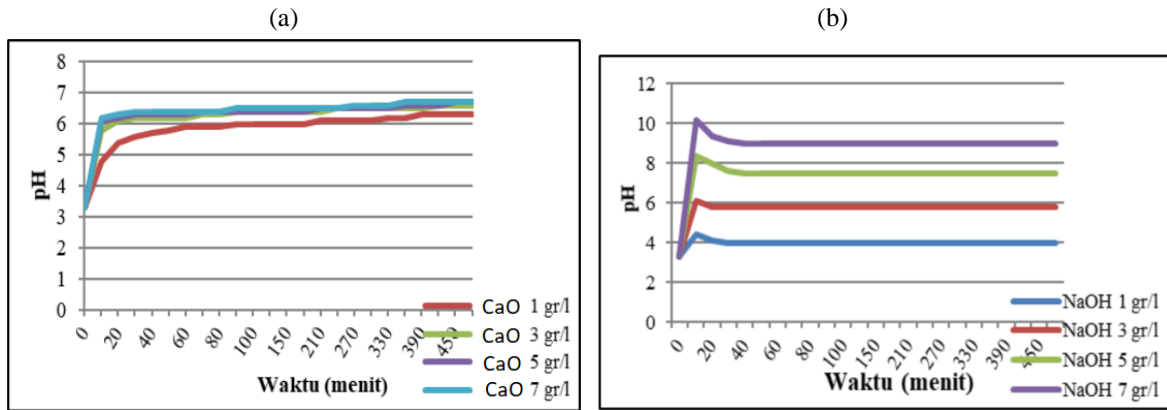
Teknologi dalam pengelolaan air asam tambang (AAT) secara aktif dan pasif ada berbagai macam metode. Sub bab ini menjelaskan tentang beberapa metode – metode dalam pengelolaan AAT secara aktif dan pasif.

3.2. Alternatif Treatment Aktif

Teknologi pengelolaan aktif merupakan treatment air asam tambang (AAT) dengan menggunakan bahan kimia alkali untuk menaikkan pH air, menetralkan keasaman dan pengendapan logam. Namun treatment secara aktif lebih mahal, memerlukan bahan kimia, dan tenaga manusia dalam pengerjaan dan pemantauan [4].

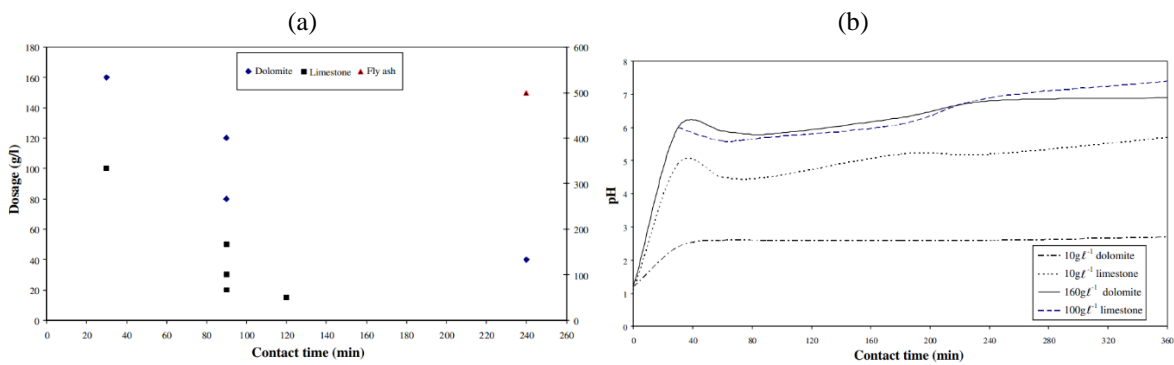
Pada penelitian yang dilakukan oleh M Eka Onwardana dkk pada tahun 2020 melakukan pengelolaan air asam tambang (AAT) menggunakan Kapur Tohor dan Soda Kaustik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AAT dengan Pemberian Kapur Tohor (CaO) dengan dosis dan waktu pengadukan yang berbeda menghasilkan nilai pH yang naik menuju netral. Semakin tinggi dosis kapur tohor (CaO) dan lama waktu pengadukan maka akan menaikkan nilai pH menuju netral. Serta peningkatan pemberian dosis kapur tohor mempercepat kenaikan pH pada AAT dan menurunkan waktu pengadukan. Sedangkan hasil menggunakan soda kaustik pada AAT menunjukkan bahwa pemberian soda kaustik (NaOH) sebesar 0,3% dan pengadukan > 5 menit bisa

menetralkan AAT hingga memenuhi baku mutu pembuangan air limbah ke sungai. Gambar 2 menunjukkan hasil pemberian kapur tohor (CaO) dan soda kaustik (NaOH)



Gambar 2. (a) Grafik trend pH pada pemberian dosis kapur tohor dan waktu pengadukan berbeda (b) Grafik trend pH pada pemberian dosis soda kaustik dan waktu pengadukan berbeda [5].

S.S. Potgieter-Vermaak pada tahun 2005 melakukan penelitian untuk membandingkan tiga bahan penetral yaitu batugamping, dolomit dan fly ash, dibandingkan laju reaksi netralisasi dan jumlah kontaminan sisa setelah perlakuan. Ringkasan hasil menggambarkan kebutuhan dosis pada masing – masing penetral dalam laju penetralisasi untuk mencapai pH minimum sebesar 5,5. Pada penelitian digunakan ukuran partikel dari tiga bahan penetral adalah < 150 μm, didapatkan hasil dosis minimum 10 g/l batukapur dengan waktu kontak 120 menit diperlukan untuk mencapai pH 5,5. Untuk dolomit dosis minimum yang dibutuhkan adalah 40 g/l dengan waktu kontak 240 menit, sedangkan fly ash diperlukan dosis minimum 500 g/l dengan waktu kontak 240 menit. Gambar 3 (a) menunjukkan dosis minimum dan waktu kontak masing – masing bahan penetral. Efisiensi netralisasi batugamping sangat dipengaruhi oleh kandungan besi pada air asam tambang. Ada dua tahap proses yaitu tahap pertama dihubungkan dengan penetralisasi asam sulfat, fase kedua yang lebih lambat disebabkan dari lapisan endapan besi hidroksida yang semakin tebal dan menutupi partikel batugamping. Gambar 3 (b) menunjukkan dimana sedikit penurunan pH diamati setelah peningkatan fase awal.



Gambar 3. (a) Dosis minimum dan waktu kontak yang diperlukan untuk mencapai pH 5,5 setelah pengolahan air asam tambang. (b) Pengaruh dosis dan waktu kontak pada pH [7].

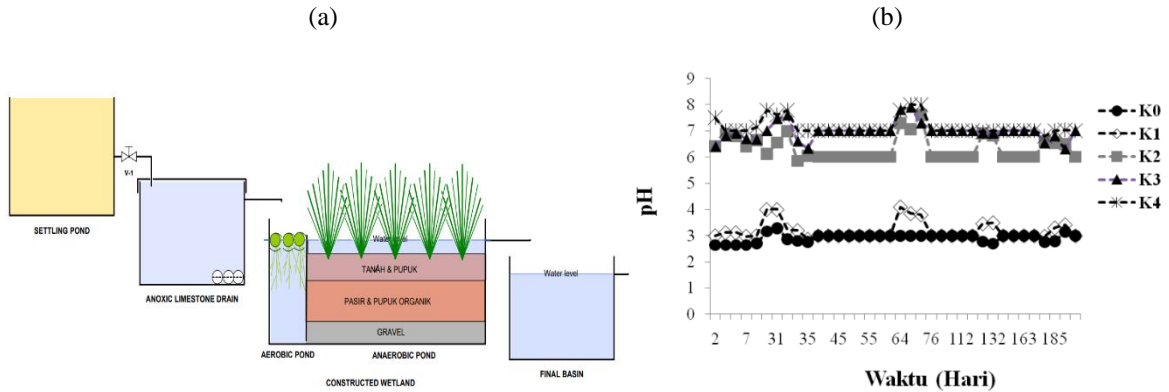
3.3. Alternatif Treatment Pasif

Teknologi pengelolaan pasif merupakan proses pengolahan secara alami yang tidak memerlukan intervensi, operasi atau perawatan oleh manusia secara regular [6].

Cynthia Henny pada tahun 2010 melakukan penelitian tentang pengelolaan air asam tambang (AAT) dengan gabungan sistem anoxic limestone drains (ALDs) dan sistem rawa buatan (CW; *Constructed Wetland*) yang dibuat secara terpisah. Skematik sistem pengelolaan gabungan ALDs dan CW dapat dilihat pada gambar 4 (a). pada penelitian tersebut air yang dianalisis pada sistem pengelolaan AAT adalah K0 (Air di saluran

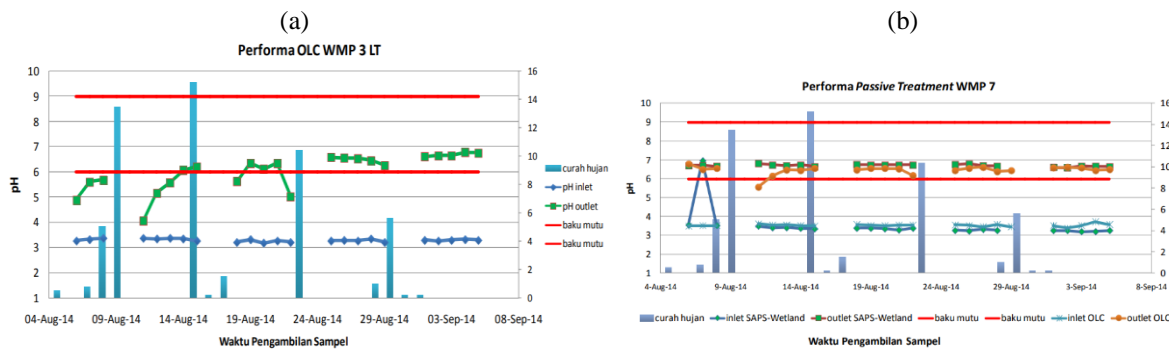
masuk), K1 (Air di kolam influen), K2 (Air keluar dari ALDs), K3 (Air keluar dari CW anaerobic), dan K4 (Air di effluent).

Hasil penelitian menunjukkan pada sistem ALDs terjadi peningkatan pH dari <3 menjadi 4 karena terjadinya pengendapan dan oksidasi Fe. Pada sistem CW selain menurunkan kadar sulfat dan logam, juga meningkatkan pH menjadi >6. Hasil pengamatan dapat dilihat pada gambar 4 (b).



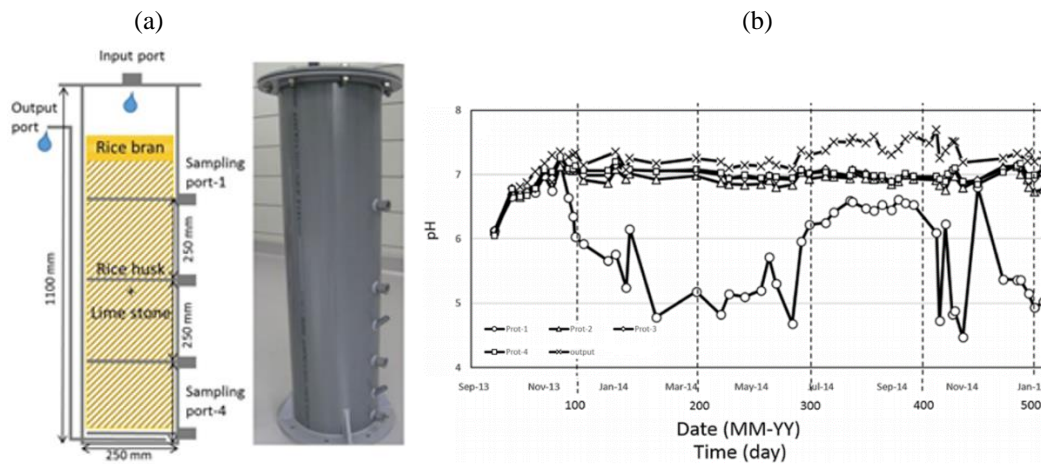
Gambar 4. (a) Skematik sistem *passive treatment* (b) Profil pH AAT pada sistem *passive treatment* skala lapangan [8].

Penelitian yang dilakukan Hieronimus Indra pada tahun 2014 tentang upaya – upaya pengelolaan AAT yang dikembangkan oleh PT Berau Coal. Kontruksi *open limestone channel* (OLC) pada *water monitoring point* WMP 3 LT dibangun dengan dimensi P × L kurang lebih 100 m × 3 m dengan kedalaman 1,5 meter. Hasil dari pengelolaan sistem OLC di WMP 3 dapat meningkatkan pH dari 3 – 7. Kualitas outlet sangat bergantung pada curah hujan. Hasil pemantauan kualitas air di WMP 3 dapat dilihat pada gambar 5 (a). Sedangkan pada WMP 7 LT menggunakan 2 sistem pengelolaan AAT yaitu OLC dan *Successive Alkalinity Producing System* (SAPS-Wetland). Hasil pemantauan menunjukkan kualitas di sistem SAPS-Wetland lebih stabil dibandingkan dengan kualitas sistem OLC. Hasil pemantauan kualitas AAT pada WMP 7 LT dapat dilihat pada gambar 5 (b).



Gambar 5 (a) Kualitas *Inlet-Outlet* OLC WMP 3 LT (b) Kualitas *Inlet-Outlet* *Passive Treatment* WMP 7 LT [9]

Yuki Sato pada tahun 2017 melakukan penelitian pengelolaan AAT menggunakan sistem *Sulphate Reducing Bioreactor*. Hasil penelitian menunjukkan pH dalam bioreaktor mengalami kecenderungan peningkatan yang diamati dari waktu ke waktu dari pH awal 3,5 menjadi 5 – 9. Peningkatan pH diakibatkan dari interaksi AAT dengan batugamping pada *sulfate-reducing bacteria* (SRB). Pada gambar 6 menunjukkan (a) instalasi *Sulphate Reducing Bioreactor* dan (b) pengamatan perubahan pH AAT dalam bioreaktor.



Gambar 6. (a) Digram konseptual dan Aliran vertikal *Sulphate Reducing Bioreactor* yang menggunakan dedak padi dan sekam padi untuk mengolah AAT *Japan Oil, Gas and Metals National Corporation* (JOGMEC) (b) Perubahan pH AAT dalam biorektor [10].

3.3. Perbandingan Masing – Masing Metode Pengelolaan AAT

Dari uraian diatas mengenai analisis pengaruh pengelolaan AAT menggunakan alternatif aktif dan alternatif pasif terhadap tren perubahan pH dan studi literatur penelitian – penelitian yang sejenis, sehingga dapat ditentukan faktor – faktor yang mempengaruhi perubahan pH pada saat treatment dari hasil analisis terhadap beberapa referensi. Tabel 1 menunjukkan perbandingan masing - masing sistem pengelolaan AAT dan faktor yang mempengaruhi perubahan pH pada saat treatment.

Tabel 1. Perbandingan Alternatif Aktif dan Pasif Serta Faktor Pengaruh Perubahan pH

Jenis Sistem Pengelolaan	Kelebihan	Keterbatasan	Faktor yang mempengaruhi perubahan pH	Referensi	
Teknologi Alternatif Aktif	<ul style="list-style-type: none"> • Kapur Tohor (CaO) 	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi tinggi, biaya rendah, dapat mengendapkan logam, tersedia secara luas 	<ul style="list-style-type: none"> • masalah kesehatan dan keselamatan, 	<ul style="list-style-type: none"> • Variasi dosis, Ukuran, waktu pengadukan 	5,13
	<ul style="list-style-type: none"> • Soda Kaustik (NaOH) 	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi sangat tinggi, sebagian besar logam mengendap. 	<ul style="list-style-type: none"> • Memerlukan biaya tinggi, tidak aman untuk ditangani dan menghasilkan volume lumpur yang tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Variasi dosis dan waktu pengadukan 	5,17
	<ul style="list-style-type: none"> • Batugamping (CaCO₃) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aman digunakan, biaya terendah dari semua bahan kimia, mudah didapat, tidak dapat digunakan secara berlebihan 	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi rendah, hanya digunakan pada netralisasi logam tertentu 	<ul style="list-style-type: none"> • Variasi dosis, ukuran partikel, dan waktu kontak 	7,17
	<ul style="list-style-type: none"> • Dolomit 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya relatif rendah kemudahan penanganan, dan lumpur dengan kepadatan tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Perlu dosis yang tinggi dalam proses netralisasi dan efisiensi rendah, dan kurang optimum untuk mengurangi kadar logam berat Fe, Mn dan Cd . 	<ul style="list-style-type: none"> • Variasi dosis, ukuran partikel, dan waktu kontak 	7,18

Jenis Sistem Pengelolaan	Kelebihan	Keterbatasan	Faktor yang mempengaruhi perubahan pH	Referensi	
• Fly ash	• bersifat reaktif atau sangat mudah bereaksi dengan air asam tambang yang digunakan dalam proses penetralan	• Memerlukan jumlah dosis yang relatif tinggi dan ketersediaan bahan baku tergantung kedekatan tambang dengan PLTU	• Distribusi ukuran butir fly ash	7,11,12	
Teknologi Alternatif Pasif	• anoxic limestone drains (ALDs)	• Biaya rendah, simpel, dan cocok pada AAT dengan tingkat DO yang rendah	• Kurang cocok pada AAT dengan kadar Al tinggi, dan gypsum pada pori - pori batugamping dapat mengurangi aliran melalui sistem yang mengakibatkan kegagalan	• Tergantung pada jenis logam yang diendapkan	8,14
	• rawa buatan (WC; <i>Constructed Wetland</i>); Aerobic dan Anaerobic Wetlands	• Biaya rendah dan menjadi tempat penyimpanan lumpur yang relatif stabil	• Membutuhkan area yang luas. Dalam kondisi asam, tanaman mungkin tidak dapat bertahan, laju oksidasi dapat menurun, dan sistem mungkin gagal.	• Jenis tumbuhan dan komposisi <i>reactive mixtures</i>	8,15
	• <i>open limestone channel</i> (OLC)	• Biaya rendah, Simpel, dan Tingkat efektifitas tinggi	• Laju pelarutan batu kapur dan waktu kontak antara air asam dan batu kapur membatasi kapasitas netralisasi sistem.	• Volume AAT, panjang saluran OLC, dan kondisi kemiringan topografi	9,14
	• <i>Successive Alkalinity Producing System</i> (SAPS- <i>Wetland</i>)	• Area yang dibutuhkan relatif kecil, baik digunakan pada kadar Fe tinggi dan Al rendah	• Diperlukan perawatan kolam dengan pengerukan endapan lumpur untuk menjaga kapasitas pengendapan dan waktu retensi	• Jumlah aliran AAT yang masuk ke SAPS, penurunan konsentrasi logam dikaitkan dengan presipitasi yang bergantung pada pH dan adsorpsi ionik / non-ionik, dan juga reduksi sulfat.	9,16
	• <i>Sulphate Reducing Bioreactor</i>	• Area yang dibutuhkan relatif kecil, baik digunakan pada kadar Fe tinggi dan Al rendah	• Dalam jangka panjang menyebabkan habisnya substrat yang diperlukan untuk mempertahankan bakteri pereduksi sulfat sehingga terjadinya kegagalan	• Jenis bakteri pereduksi sulfat, suhu dan sifat air limbah tambang	1,10

4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi literatur dari berbagai jurnal mengenai teknologi alternatif pengelolaan air asam tambang, maka dapat ditarik kesimpulan pemilihan metode pengelolaan AAT yang tepat tergantung pada tingkat efisiensi dalam pengolahan sifat kimia air termasuk pH, konsentrasi logam dan sulfat dalam meminimalisir biaya dan resiko pada lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan paper ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak khususnya Kepada Prodi Teknik Pertambangan UPN "Veteran" Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] RoyChowdhury, A., Sarkar, D., & Datta, R. (2015). Remediation of acid mine drainage-impacted water. *Current Pollution Reports*, 1(3), 131-141.
- [2] Bell, F. G., Hälbich, T. F. J., & Bullock, S. E. T. (2002). The effects of acid mine drainage from an old mine in the Witbank Coalfield, South Africa. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 35(3), 265-278.
- [3] Hesketh, A. H., Broadhurst, J. L., & Harrison, S. T. L. (2010). Mitigating the generation of acid mine drainage from copper sulfide tailings impoundments in perpetuity: A case study for an integrated management strategy. *Minerals Engineering*, 23(3), 225-229.
- [4] Skousen, J., Politan, K., Hilton, T., & Meek, A. (1990). Acid mine drainage treatment systems: chemicals and costs. *Green Lands*, 20(4), 31-37.
- [5] Onwardana, M. E., Rizni Andari, P., Tibri, T., & Ardiansyah, E. (2020). STUDI EFEKTIVITAS PENGGUNAAN KAPUR TOHOR (CaO) DAN SODA KAUSTIK (NaOH) PADA PENGELOLAAN AIR ASAM TAMBANG. *Saintek ITM*, 33(1).
- [6] Gautama, R. S. (2012). Pengelolaan air asam tambang. *Institut Teknologi Bandung, Bandung*.
- [7] Potgieter-Vermaak, S. S., Potgieter, J. H., Monama, P., & Van Grieken, R. (2006). Comparison of limestone, dolomite and fly ash as pre-treatment agents for acid mine drainage. *Minerals Engineering*, 19(5), 454-462.
- [8] Henny, C., Ajie, G. S., & Susanti, E. (2010). Pengolahan air asam tambang menggunakan sistem "passive treatment". In *Dalam Prosiding Seminar Nasional Limnologi V* (pp. 331-343).
- [9] INDRA, H., LEPONG, Y., GUNAWAN, F., & ABFERTIAWAN, M. S. (2014). Penerapan Metode Active dan Passive Treatment Dalam Pengelolaan Air Asam Tambang Site Lati. *Jurnal Ilmiah. Oktober*.
- [10] Sato, Y., Hamai, T., Hori, T., Habe, H., Kobayashi, M., & Sakata, T. (2018). Year-round performance of a passive sulfate-reducing bioreactor that uses rice bran as an organic carbon source to treat acid mine drainage. *Mine Water and the Environment*, 37(3), 586-594.
- [11] Said, M. S., Nurhawaisyah, S. R., Juradi, M. I., Asmiani, N., & Kusuma, G. J. (2020). Analisis Kandungan Fly Ash Sebagai Alternatif Bahan Penetral Dalam Penanggulangan Air Asam Tambang. *Jurnal Geomine*, 7(3), 170.
- [12] Vadapalli, V. R., Gitari, M. W., Petrik, L. F., Etchebers, O., & Ellendt, A. (2012). Integrated acid mine drainage management using fly ash. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 47(1), 60-69.
- [13] Adha, C. W., Ramli, M., & Thamrin, M. (2018, January). ANALISIS EFEKTIVITAS KAPUR TOHOR DAN ZEOLIT UNTUK PENINGKATAN pH DAN PENURUNAN KANDUNGAN LOGAM Fe DAN Cu PADA PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Inovasi dan Aplikasi di Lingkungan Tropis* (Vol. 1, No. 1, pp. 43-51).
- [14] Wolkersdorfer, C. (2008). *Water management at abandoned flooded underground mines: fundamentals, tracer tests, modelling, water treatment*. Springer Science & Business Media.
- [15] Taylor, J., Pape, S., & Murphy, N. (2005, August). A summary of passive and active treatment technologies for acid and metalliferous drainage (AMD). In *Fifth Australian workshop on acid drainage* (Vol. 2931).
- [16] Bhattacharya, J., Ji, S. W., Lee, H. S., Cheong, Y. W., Yim, G. J., Min, J. S., & Choi, Y. S. (2008). Treatment of acidic coal mine drainage: design and operational challenges of successive alkalinity producing systems. *Mine Water and the Environment*, 27(1), 12-19.
- [17] Skousen, J., Hilton, T., & Faulkner, B. (1996). Overview of acid mine drainage treatment with chemicals. *Green Lands*, 26(3), 40-49.
- [18] Kiswanto, K., Wintah, W., & Rahayu, N. L. (2020). ANALISIS LOGAM BERAT (Mn, Fe, Cd), SIANIDA DAN NITRIT PADA AIR ASAM TAMBANG BATU BARA. *JURNAL LITBANG KOTA PEKALONGAN*, 18.