

UTILIZATION OF FLY ASH AND BOTTOM ASH AS ACID MINE WATER NEUTRALIZATION MEDIA

PEMANFAATAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH SEBAGAI MEDIA NETRALISASI AIR ASAM TAMBANG

Tasya¹, Ardiansah^{1*}, Muh. Azis Albar J¹

¹Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik Industri Logam Morowali, Indonesia

*e-Mail Corresponding Author: ardiansah@pilm.ac.id

ABSTRACT

Mine acid water is an environmental impact of mining activities. This becomes even more important if the handling of acid mine drainage is not optimal. Fly ash and bottom ash can be used as alternative utilization of industrial waste to neutralize acid mine drainage. The purpose of this study was to determine the optimal composition of fly ash, bottom ash, and alum to neutralize acid mine drainage and the optimal mass ratio of the fly ash and alum mixture to neutralize mine acid water. Based on the results of testing the optimal mass of fly ash is 0.25 g, 0.50 g, 0.75 g, 1 g, 1.25 g, and 1.50 g with a pH of 6.1, 7.5, 7.6, 7.9, 8.2, and 8.3 which are by the Decree of the State Minister for the Environment number 113 of 2003 concerning wastewater quality standards for mining businesses or activities, namely the pH of water at 6-9 mg/l. Experiments for the maximum use of bottom ash were 1.50 g with a pH of 5. Based on the tests, the optimal mass of a mixture of fly ash and alum was 3.15 g and 3.20 g with a pH of 6.2 and 6.5.

Keywords: *alum, bottom ash, fly ash, mine acid water*

ABSTRAK

Air Asam Tambang (AAT) merupakan dampak lingkungan dari kegiatan pertambangan. Hal ini menjadi semakin penting jika penanganan air asam tambang tidak begitu maksimal. *Fly ash* dan *bottom ash* dapat dijadikan alternatif pemanfaatan limbah industri untuk menetralkan air asam tambang. Adapun tujuan penelitian ini yaitu untuk menentukan komposisi optimal *fly ash*, *bottom ash* dan tawas untuk menetralkan air asam tambang serta mengetahui perbandingan massa optimal campuran *fly ash* dan tawas untuk menetralkan air asam tambang. Berdasarkan hasil pengujian massa optimal *fly ash* yaitu 0,25 g; 0,50 g; 0,75 g; 1 g; 1,25 g; dan 1,50 g dengan pH secara berturut yaitu 6,1; 7,5; 7,6; 7,9; 8,2; dan 8,3 yang telah sesuai dengan keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang baku mutu air limbah bagi usaha atau kegiatan pertambangan yaitu pH air diangka 6-9 mg/l. Percobaan untuk penggunaan *bottom ash* maksimal di angka 1,50 g dengan pH 5. Berdasarkan pengujian, massa optimal campuran *fly ash* dan tawas yaitu 3,15 g dan 3,20 g dengan pH 6,2 dan 6,5.

Kata kunci: *air asam tambang, bottom ash, fly ash, tawas*

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki banyak sumber daya alam, termasuk pada sektor pertambangan. Penambangan adalah seluruh tahapan kegiatan yang melibatkan berbagai langka dalam prosesnya, termaksud penelitian, pengolahan, pemurnian, pengangkutan, dan penjualan bahan galian. Usaha pertambangan merupakan segala upaya yang dilakukan oleh individu, badan hukum, atau usaha guna mengambil bahan galian dengan tujuan memafaatkannya untuk kepentingan manusia. Kegiatan pertambangan sendiri terdiri dari serangkaian langkah, mulai dari pencarian dan kajian potensi hingga eksploitas mineral, yang dapat memberikan manfaat bagi perusahaan, masyarakat sekitar, serta pemerintah ditingkat lokal dan nasional (Satriawan, 2021).

Kegiatan penambangan umumnya dilakukan dengan metode tambang terbuka. Dampak yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan sebanding dengan luas wilayah yang dieksplorasi. Terjadinya perubahan-perubahan lingkungan yang disebabkan oleh penambangan dapat bersifat permanen dan tidak dapat diperbaiki, termasuk dampak negatif penambangan karena penggunaan bahan kimia berbahaya dapat menimbulkan masalah lingkungan yang serius. Bahan-bahan yang digunakan tidak hanya merusak dan mengganggu ekosistem tetapi juga berbahaya bagi manusia. Penambangan memiliki konsekuensi negatif, salah satunya adalah penurunan kualitas air, seperti yang terjadi selama proses pemisahan batubara dan belerang. Penelitian telah menunjukkan bahwa limbah pencucian batubara mencemari air sungai, membuatnya keruh dan asam. Zat berbahaya ini dapat membahayakan kesehatan manusia saat dikonsumsi dan dapat menyebabkan penyakit kulit seperti kanker kulit (Yudya Ananda, 2022).

Menurut Salman Said et al (2019), baik tambang bijih maupun tambang batubara yang teroksidasi dengan mineral sulfida menjadi salah satu dampak serius terhadap lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas pertambangan. Jika penanganan air asam tambang tidak dilakukan dengan benar, masalah ini akan menjadi masalah yang serius pada masa pasca tambang. Menurut keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 113 tahun 2003 tentang standar air limbah untuk usaha atau aktivitas pertambangan yang ditoleransi yaitu pH air harus 6-9 mg/l (Bryan Samosir & Har, 2021). Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak limbah cair pertambangan, pada penelitian ini akan menggunakan limbah batubara (*fly ash* dan *bottom ash*) sebagai upaya pengolahan air asam tambang sebelum dialirkan ke lingkungan. Metode pengolahan ini juga dapat digunakan pada sebagian limbah industri. Menurut (Badan Pemeriksa Keuangan (2014), Peraturan pemerintah nomor 101 tahun 2014 tentang pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) mendefinisikan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai limbah berbahaya (B3). Peraturan ini menetapkan bahwa setiap perusahaan ataupun perorangan yang menghasilkan limbah B3 harus mengolahnya. Namun dengan keluarnya peraturan pemerintah nomor 22 tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, *fly ash* dan *bottom ash* tidak lagi tergolong sebagai limbah berbahaya B3. Namun limbah *fly ash* dan *bottom ash* tetap harus ditangani dengan baik agar tidak membahayakan lingkungan (Bryan Samosir & Har, 2021).

Fly ash dan *bottom ash* adalah limbah dari proses pembakaran. *Fly ash* adalah abu halus yang tersisa dari tungku proses pembakaran dan dibawa oleh gas buang sedangkan *bottom ash* adalah abu sisa pembakaran yang tertinggal dan dapat dikeluarkan dari bagian bawah tungku pembakaran. Untuk mengetahui kandungan dari *fly ash* maupun *bottom ash* dapat dilakukan dengan penggunaan instrument diantaranya adalah instrument *X-Ray Fluorescence* (XRF). Berdasarkan uji analisa diperoleh kandungan mineral penyusun *fly ash* dan *bottom ash* diantaranya adalah Feri Oksida (Fe_2O_3) 18,60%, Aluminium Oksida (Al_2O_3) 14,96%, Kalsium Oksida/Kapur Tohor (CaO) 14,78%, Magnesium Oksida (MgO) 2,74%, Sulfur/Belerang Trioksida (SO_3) 1,97%, Natrium Oksida (Na_2O) 0,47% dan Kalium Oksida (K_2O) dengan kadar 0,56% (Bryan Samosir & Har, 2021). Kandungan aluminium oksida dan mineral lain yang mengandung kapur dapat menetralkan air asam karena memiliki sifat alkalinitas (Salman Said et al., 2019).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *fly ash* dan *bottom ash* dapat digunakan sebagai alternatif bahan penetral untuk menetralkan air asam tambang (Salman Said et al., 2019; Herlina et al., 2014). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan komposisi yang tepat untuk menentukan *fly ash*, *bottom ash* dan tawas yang ideal untuk menetralkan air asam tambang, serta untuk mengetahui perbandingan massa.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan eksperimen dengan pemanfaatan *fly ash*, *bottom ash* dan tawas untuk menetralkan air asam tambang dengan komposisi massa yang bervariasi dengan mengukur pH air asam tambang dan menentukan massa yang paling optimal untuk menetralkan air asam tambang.

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu gelas kimia, spatula, batang pengaduk, *magnetic stirrer*, timbangan, pH meter dan instrument *X-Ray Fluorescence* (XRF). Bahan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah abu layang batubara (*fly ash*), abu dasar batubara (*bottom ash*), tawas dan air asam tambang.

2.2 Prosedur Penelitian

Pada tahap awal sampel akan dikarakterisasi menggunakan XRF, lalu sampel *fly ash* dan *bottom ash* akan di preparasi dengan cara diayak menggunakan ayakan 200 mesh setelah itu sampel akan ditimbang dengan komposisi massa yang telah ditentukan.

2.2.1 Fly Ash

Pada penelitian ini akan dilakukan proses penetralan air asam tambang menggunakan *fly ash* dengan cara diambil air asam tambang 200 ml dimasukkan ke dalam gelas kimia 250 ml, diukur pH nya menggunakan pH meter dan dicatat sebagai pH awal. *Fly ash* yang telah ditimbang sesuai dengan komposisi massa yang telah ditentukan dicampurkan ke dalam air asam yang bervolume 200 ml di aduk dengan magnetik stirrer dengan kecepatan 250 rpm selama 15 menit dan ditunggu beberapa saat sekitar 5 menit, lalu diukur pH nya menggunakan pH meter dicatat nilai pH dan dilakukan hal yang sama untuk setiap komposisi.

2.2.2 Bottom Ash

Pada penelitian ini akan dilakukan proses penetralan air asam tambang menggunakan bottom ash dengan cara diambil air asam tambang 200 ml dimasukkan kedalam gelas kimia 250 ml, diukur pH nya menggunakan pH meter dan dicatat sebagai pH awal. Bottom ash yang telah ditimbang sesuai dengan komposisi massa yang telah ditentukan dicampurkan kedalam air asam yang bervolume 200 ml di aduk dengan magnetik stirer dengan kecepatan 250 rpm selama 15 menit dan ditunggu beberapa saat sekitar 5 menit, lalu diukur pH nya menggunakan pH meter dicatat nilai pH dan dilakukan hal yang sama untuk setiap komposisi.

2.2.3 Tawas

Pada penelitian ini akan dilakukan proses penetralan air asam tambang menggunakan tawas dengan cara diambil air asam tambang 200 ml dimasukkan kedalam gelas kimia 250 ml, diukur pH nya menggunakan pH meter untuk pH awal, tawas yang telah ditimbang sesuai dengan komposisi massa yang telah ditentukan dicampurkan kedalam air asam yang bervolume 200 ml diaduk dengan magnetik stirer dengan kecepatan 250 rpm selama 15 menit dan ditunggu beberapa saat sekitar 5 menit, lalu diukur pH nya menggunakan pH meter dicatat nilai pH dan dilakukan hal yang sama untuk setiap massa komposisi.

2.2.4 Campuran Fly Ash dan Tawas

Pada penelitian ini akan dilakukan proses penetralan air asam tambang menggunakan campuran *fly ash* dan tawas dengan cara diambil air asam tambang 200 ml di masukkan kedalam gelas kimia 250 ml, diukur pH nya menggunakan pH meter untuk pH awal, *fly ash* yang telah ditimbang sesuai dengan komposisi massa yang telah ditentukan dicampurkan kedalam air asam yang bervolume 200 ml diaduk dengan magnetik stirer dengan kecepatan 250 rpm selama 15 menit dan ditunggu beberapa saat sekitar 5 menit, diukur pH nya menggunakan pH meter setelah itu air asam tambang di pisahkan dengan residu *fly ash* yang mengendap, larutan yang telah terpisah kemudian di campurkan tawas dengan komposisi massa yang telah ditentukan, diaduk ditunggu 15 menit lalu diukur pH nya dan di catat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan pengolahan air asam tambang yang dilakukan dengan cara menetralkan pH air asam tambang. Penelitian ini menggunakan limbah batubara yaitu *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan penetralisir air asam juga menggunakan tawas dan campuran *fly ash* dengan tawas. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi optimal setiap sampel untuk menetralkan air asam tambang. Penelitian ini diawali dengan karakterisasi sampel *fly ash* dan *bottom ash* menggunakan *X-ray fluorescence* (XRF). Pada karakterisasi *fly ash* terdapat kandungan silika oksida (SiO_2) dan merupakan salah satu komponen utama *fly ash*. Kandungan silika dalam *fly ash* mencapai 40%, dan terdapat juga elemen lainnya seperti besi oksida (Fe_2O_3) sebanyak 29,57%, kalsium oksida (CaO) sebanyak 22,14%, aluminium oksida (Al_2O_3) sebanyak 6,34% dan terdapat juga kandungan senyawa lainnya yang dapat dilihat secara lengkap pada Tabel 1. Sedangkan pada *bottom ash* terdapat kandungan silika oksida (SiO_2) yang lebih sedikit dibandingkan *fly ash* yaitu 0,52%, kalsium oksida

(CaO) sebanyak 0,33%, besi (Fe_2O_3) sebanyak 0,24%, aluminium oksida (Al_2O_3) sebanyak 0,94% dan terdapat kandungan lainnya yang dapat dilihat secara lengkap pada Tabel 2. Hasil analisis XRF *fly ash* sangat berbeda dibandingkan *bottom ash* hal ini disebabkan oleh sifat fisik dan kimia serta proses pembentukan yang terjadi pada *fly ash* dan *bottom ash*.

Tabel 1. Hasil karakterisasi *fly ash* menggunakan XRF

No.	Parameter	Hasil
1	SiO_2	40%
2	Fe_2O_3	29,57%
3	CaO	22,14%
4	Al_2O_3	6,34%
5	K_2O	0,66%
6	TiO_2	0,64%
7	SrO	0,253%
8	BaO	0,151%
9	ZrO_2	0,097%
10	Nb_2O_5	0,0455%
11	MoO_3	0,0351%
12	RuO_4	0,0131%

Tabel 2. Hasil karakterisasi *bottom ash* menggunakan XRF

No.	Parameter	Hasil
1	SiO_2	0,52%
2	CaO	0,33%
3	Fe_2O_3	0,24%
4	Al_2O_3	0,93%
5	SO_3	1,14%
6	K_2O	0,12%
7	TiO_2	0,18%
8	SrO	0,029%
9	BaO	0,015%
10	ZrO_2	0,017%

Setelah itu pengambilan air dilingkungan tambangan dengan pH 4 lalu ditambahkan H_2SO_4 0,002 M sebanyak 2 ml sehingga pH yang di hasilkan yaitu 3,5; sehingga variabel tetap pada penelitian ini yaitu air asam tambang dengan pH 3,5 dengan kecepatan pengadukkan 250 rpm, variabel bebas yaitu variasi komposisi massa setiap sampel dan variabel tetap adalah pH.

Tabel 3. Data hasil pengujian air asam tambang menggunakan *fly ash*

No	Komposisi (g)	pH awal	pH
1	0,25	3,5	6,1
2	0,50	3,5	7,5
3	0,75	3,5	7,6
4	1	3,5	7,9
5	1,25	3,5	8,2
6	1,50	3,5	8,3

Tabel 4. Data hasil pengujian air asam tambang menggunakan *bottom ash*

No	Komposisi (g)	pH awal	pH akhir
1	0,25	3,5	4,2
2	0,50	3,5	4,4
3	0,75	3,5	4,6
4	1	3,5	4,8
5	1,25	3,5	4,9
6	1,50	3,5	5,0

Tabel 5. Data hasil pengujian air asam tambang menggunakan tawas

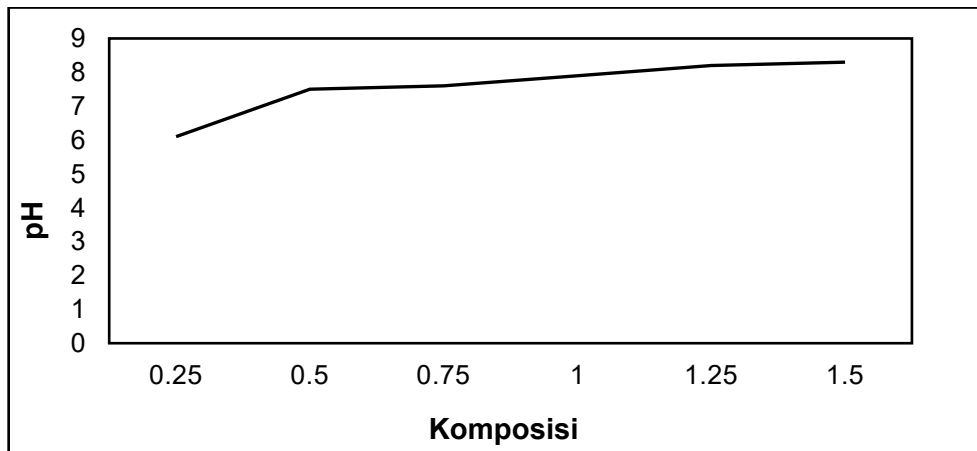
No	Komposisi (g)	pH awal	pH akhir
1	0,15	3,5	4,3
2	0,25	3,5	4,0
3	0,35	3,5	4,0
4	0,45	3,5	4,0
5	0,55	3,5	3,9
6	0,65	3,5	3,9

Tabel 6. Data hasil pengujian air asam tambang menggunakan campuran *fly ash* dan tawas

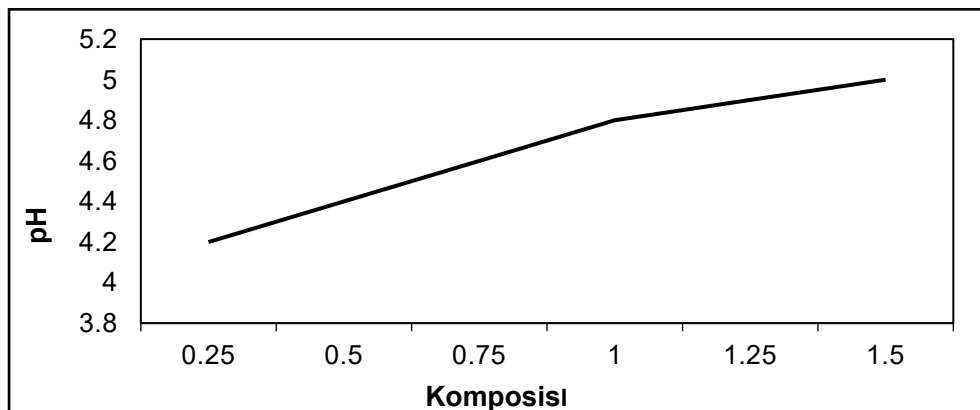
No	Komposisi (g)		pH awal	pH akhir
	Fly ash	Tawas		
1	3	0,15	3,5	6,2
2	3	0,20	3,5	6,5
3	3	0,25	3,5	5,9
4	3	0,30	3,5	5,8

Berdasarkan penelitian *fly ash* lebih mengalami peningkatan pH di bandingkan *bottom ash* dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Adapun data hasil pengujian

penetralan air asam tambang menggunakan *fly ash*, *bottom ash*, tawas dan campuran *fly ash* dan tawas disajikan dalam Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 1. Grafik komposisi variasi massa *fly ash* terhadap pH air asam tambang

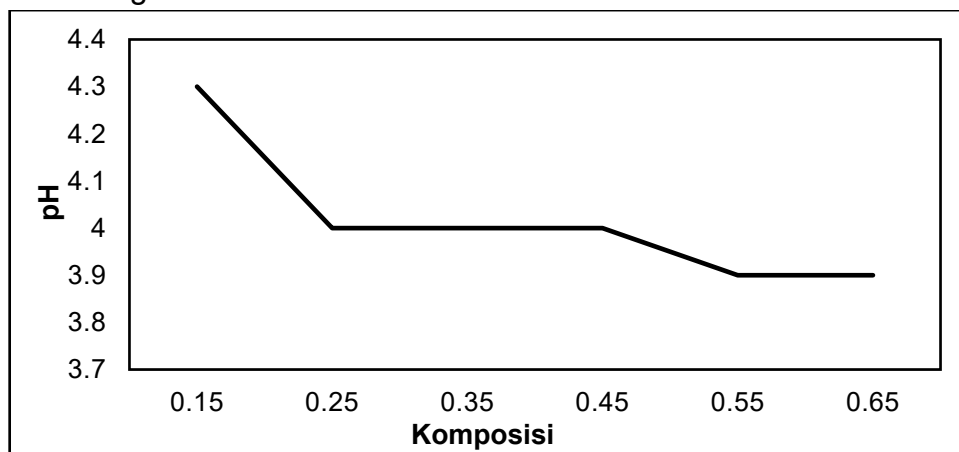


Gambar 2. Grafik komposisi variasi massa *bottom ash* terhadap pH air asam tambang

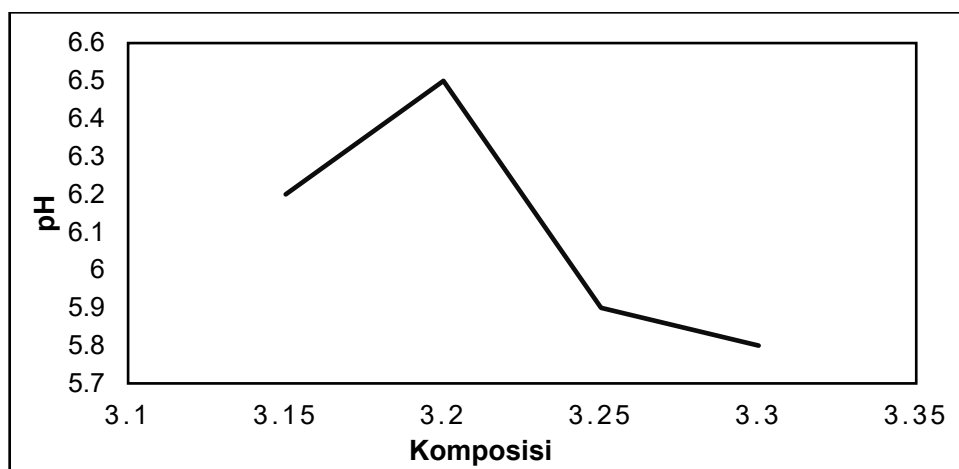
Berdasarkan pengujian komposisi variasi massa *fly ash* dan *bottom ash* mempunyai variasi yang sama tetapi peningkatan pH pada *fly ash* lebih besar dibandingkan dengan *bottom ash*. Hal ini disebabkan oleh pengaruh ukuran partikel *fly ash* memiliki partikel yang halus dengan ukuran yang sangat kecil serta memiliki luas permukaan yang sangat besar sehingga memiliki kemampuan serap yang baik untuk mengurangi kadar asam. *Fly ash* juga umumnya memiliki kandungan oksida logam alkalin yang tinggi seperti kalsium oksida (CaO), silika oksida (SiO_2), besi oksida (Fe_2O_3), dan aluminium oksida (Al_2O_3) yang sangat tinggi, senyawa-senyawa ini dapat bereaksi dengan komponen asam dalam air asam tambang dan membentuk senyawa seperti silika dapat bereaksi dengan asam untuk membentuk silikat, besi oksida (Fe_2O_3) dapat bereaksi dengan asam menghasilkan senyawa sulfat besi (FeSO_4), kalsium oksida (CaO) dapat bereaksi dengan asam membentuk senyawa kalsium sulfat (CaSO_4) dan aluminium oksida (Al_2O_3) bereaksi dengan asam dengan membentuk senyawa seperti aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) sehingga pH yang dihasilkan lebih tinggi karena dapat mengurangi tingkat keasamannya (Marwan Asof Dea dkk., 2020). Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan semakin besar massa *fly ash* maka pH akan semakin meningkat.

Berdasarkan pada Gambar 2 *bottom ash* tidak mengalami peningkatan secara signifikan seperti pada *fly ash*. Hal ini karena *bottom ash* memiliki ukuran butir lebih kasar dan besar sehingga lebih lambat bereaksi dengan air asam (Hidayat, 2017). *Bottom ash* memiliki kandungan oksida logam alkalin seperti kalsium oksida (CaO), silika oksida (SiO_2), besi oksida (Fe_2O_3), dan aluminium oksida (Al_2O_3) yang lebih rendah dibandingkan dengan *fly ash*. berdasarkan pada gambar 2 menunjukkan peningkatan massa *bottom ash* berbanding lurus dengan kenaikan pH dari sampel. Akan tetapi kenaikan pH yang dialami tidak terlalu signifikan dan akan menyisakan endapan yang tebal karena memiliki karakteristik seperti pasir sehingga tidak mudah larut (Marwan Asaf Dea et al., 2020).

Berdasarkan pengujian masa optimal *fly ash* yaitu 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g, 1 g, 1,25 g, dan 1,50 g dengan pH secara berturut yaitu 6,1; 7,5; 7,6; 7,9; 8,2 dan 8,3 dan berdasarkan keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang baku mutu air limbah mengatakan bahwa nilai pH air yang sesuai adalah diangka 6-9 mg/l, berdasarkan hal tersebut menunjukkan bahwa *fly ash* telah sesuai dan memenuhi sedangkan *bottom ash* belum memenuhi standar tersebut.



Gambar 3. Grafik komposisi variasi massa *bottom ash* terhadap pH air asam tambang



Gambar 4. Grafik komposisi variasi massa campuran tawas dan *fly ash* terhadap pH air asam tambang

Berdasarkan data pengujian pada Gambar 4 tawas kurang efektif dalam menetralkan air asam tambang sebagaimana terlihat pada komposisi 0,15 g, pH menjadi 4,3 dan pada komposisi 0,65 g, pH justru mengalami penurunan menjadi 3,9 sehingga dapat dinyatakan bahwa semakin besar massa tawas yang ditambahkan pada air asam tambang maka pH air asam tambang justru semakin turun. Hal ini sesuai dengan penelitian Bantar Tyas Sukmawati Rukmana et al (2017), yang mengatakan bahwa semakin banyak dosis tawas yang ditambahkan, maka pH akan semakin turun, karena dihasilkan asam sulfat sehingga perlu dosis tawas yang efektif antara 5,8 – 7,4 apabila alkalinitas alami dari air tidak seimbang dengan dosis tawas. sehingga massa optimal tawas yaitu pada 0,15 g dengan pH 4,3.

Pada penelitian ini juga menggunakan campuran *fly ash* dan tawas berdasarkan pengujian pada komposisi 3,15 g dan 3,20 g, pH menjadi naik yaitu 6,2 dan 6,5. Pada saat massa tawas di naikkan 0,25 g dan 0,30 g pH menjadi turun menjadi 5,9 dan 5,8 sehingga dapat dinyatakan semakin tinggi massa *fly ash* dan rendah massa tawas maka pH akan meningkat. Berdasarkan pengujian dapat dilihat *fly ash* tawas bahwa *fly ash* mempercepat kenaikan pH air asam tambang sedangkan penggunaan tawas tidak berfungsi sebagai penetralan air asam tambang melainkan untuk mempercepat proses pengendapan dan penjernihan air asam tambang (Saputra dkk., 2021).

Berdasarkan pengujian massa optimal campuran *fly ash* dan tawas yaitu 3,15 g dan 3,20 g dengan pH 6,2 dan 6,5, sehingga sesuai dengan keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang baku mutu air limbah mengatakan bahwa nilai pH air yang diizinkan diangka 6-9 mg/l, berdasar hal tersebut maka campuran *fly ash* dan tawas pada komposisi massa 3,15 g dan 3,20 g telah sesuai atau memenuhi sedangkan tawas pada komposisi 0,15 g belum memenuhi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengujian massa optimal *fly ash* yaitu 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g, 1 g, 1,25 g, dan 1,50 g dengan pH secara berturut yaitu 6,1; 7,5; 7,6; 7,9; 8,2; dan 8,3 dan massa optimal bottom ash yaitu 1,50 g dengan pH 5. Pengujian massa optimal tawas yaitu pada 0,15 g dengan pH 4,3. Sedangkan massa optimal campuran *fly ash* dan tawas yaitu 3,15 g dan 3,20 g dengan pH 6,2 dan 6,5. Saran untuk penelitian ini adalah penelitian ini dapat dilanjutkan dengan menambahkan bahan penetral lainnya seperti kapur dan perlu dilakukan penambahan parameter pegujian seperti *total dissolved solid* (TDS).

REFERENSI

Badan Pemeriksa Keuangan. (2014). *PP Nomor 101 Tahun 2014*.

Bantar Tyas Sukmawati Rukmana, Abdul Rauf, & Desyana Ghafarunniasa. (2017). Penanganan Air Asam Tambang pada Skala Laboratorium dengan Menggunakan Kapur Tohor Berdasarkan Parameter Ketebalan NAF. *Prosiding Seminar Nasional XII "Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2017 Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta*, 24–29.

- Bryan Samosir, G. G., & Har, R. (2021). Pemanfaatan Fly Ash Bottom Ash dan Tawas untuk Menetralkan Air Asam Tambang. *Jurnal Bina Tambang*, 6(4), 102–111.
- Herlina, A., Handayani, H. E., Iskandar, H., & Pertambangan, J. T. (2014). Pengaruh Fly Ash Dan Kapur Tohor Pada Netralisasi Air Asam Tambang Terhadap Kualitas Air Asam Tambang (Ph, Fe & Mn) di Iup Tambang Air Laya PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. *Jurnal Ilmu Teknik Sriwijaya*, 1(1), 1–8.
- Hidayat, L. (2017). Pengelolaan Lingkungan Areal Tambang Batubara (Studi Kasus Pengelolaan Air Asam Tambang (Acid Mining Drainage) di PT. Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan). *Jurnal ADHUM*, 7(1), 44–52.
- Marwan Asof Dea, Rosihan, & Farida Ali Dea. (2020). *Rancangan Pengolahan Air Asam Tambang dengan Metode Aerasi Fly Ash Insitu*.
- Salman Said, M., Ratmi Nurhawaisyah, S., Idris Juradi, M., Asmiani, N., & Jalu Kusuma, G. (2019). Analisis Kandungan Fly Ash Sebagai Alternatif Bahan Penetral Dalam Penanggulangan Air Asam Tambang. *Jurnal Geomine*, 7(3), 163–170.
- Saputra, I., Har, R., & Gamela Saldy, T. (2021). Pemanfaatan FABA, Tawas dan Kapur Untuk Menetralkan Air Asam Tambang. *Jurnal Bina Tambang*, 6(4), 216–223.
- Satriawan, D. D. (2021). Pengelolaan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara Pasca Berlakunya Undang-undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja. *Jurnal Esensi Hukum*, 3(2), 123–133. <https://doi.org/10.30652/jih.v4i2.2792>
- Yudya Ananda. (2022). Kerusakan Lingkungan Akibat Kegiatan Penambangan Emas Ilegal di Kabupaten Murung Raya, Kalimantan Tengah. *Pendidikan Lingkungan Hidup*, 1(1), 1–11.