

PEMANFAATAN *FLY ASH BOTTOM ASH* DAN TAWAS UNTUK MENETRALKAN AIR ASAM TAMBANG

Grogerius Bryan G. Samosir¹, Rusli HAR²

Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

e-mail: gregoriusbrian05@gmail.com¹ ruslihar@ft.unp.ac.id²

Abstract. PLTU X uses coal as its fuel. The impact of the use of this coal produces 150 – 200 tons of fly ash bottom ash (FABA) waste every day and is piled up in the ash disposal. This study aims to utilize FABA, alum and mixture of both to neutralized acid mine drainage. Acid mine drainage used as the object of this research is taken from CV. Air Mata Emas Sawahlunto which had pH 3.72. This experimental test was carried out by varying the mass of FABA, alum and mixture of FABA alum to neutralized acid mine drainage. The result of this research on mixing 200 ml of acid mine drainage water samples which had pH 3.72 with various FABA masses, it was found 1 gr of FABA could increase the pH of acid mine water to 7.3. It isn't recommended to use alum for neutralizing acid mine drainage because an increase mass of alum actually makes acid mine drainage more acidic. For neutralizing acid mine drainage using a mixture of FABA and alum, the ratio of both of 5.3 : 0.5 can neutralized acid mine water with pH of 3.72 to 7.71. The mixing of FABA and alum can also accelerate the deposition of FABA used, so that neutral acid mine water can be drained directly outside the mine area.

Keywords: Coal, Fly Ash Bottom Ash, Acid Mine Drainage Neutralization, pH, alum.

1. Pendahuluan

Penambangan merupakan usaha pencarian bahan galian berharga yang memiliki nilai ekonomis. Kegiatan penambangan meliputi pengupasan overburden, penggalian bahan galian, pengolahan hingga pemasaran. Batubara merupakan bahan galian yang berfungsi sebagai sumber energi. Di Indonesia, sudah banyak industri-industri yang memakai batubara sebagai bahan bakar, baik perusahaan asing maupun perusahaan dari dalam negeri. Rata-rata perusahaan yang memanfaatkan batubara sebagai bahan bakar utamanya adalah pabrik-pabrik dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Sebagai contoh, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) X menggunakan 3.000 – 4.000 ton batubara *bituminous* sebagai bahan bakarnya setiap hari. PLTU X yang mulai beroperasi secara penuh pada tahun 2014 ini, merupakan salah satu PLTU terbesar di daerah Sumatera. Dengan jumlah bahan bakar yang sangat banyak tersebut, PLTU tersebut menghasilkan limbah *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) sebanyak 150 – 200 ton/hari. FABA yang dihasilkan dari PLTU setiap hari akan menumpuk dan dapat menimbulkan polusi bagi lingkungan sekitar.

Abu sisa pembakaran batubara ini berbentuk partikel halus amorf dan bersifat pozzolan. Abu terbang (*fly ash*) bersifat alkalin di alam, namun PH abu terbang dapat bervariasi dari 4,5 – 12. Nilai pH abu terbang sebagian besar ditentukan oleh kandungan S (sulfur) dalam bahan induk batubara (Herlina, 2009).

Abu sisa pembakaran terbagi dua, yaitu *fly ash* dan *bottom ash*. *Fly ash* adalah material yang memiliki ukuran butiran yang halus yang terbawa gas buang dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara, sedangkan *bottom ash* adalah abu halus yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku proses pembakaran.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), disebutkan bahwa *fly ash bottom ash* termasuk limbah kategori berbahaya (B3). Disana disebutkan bahwa setiap orang yang menghasilkan limbah B3 wajib melakukan pengelolaan limbah B3 yang dihasilkannya. Namun, untuk saat ini berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, limbah *fly ash bottom ash* tidak lagi menjadi limbah kategori B3. Hal ini tentunya dapat membuat perusahaan mengubah perlakuan penanganan limbah *fly ash bottom ash* ini mengingat perubahan statusnya dari limbah B3 menjadi tidak berbahaya. Bagaimanapun, PLTU tentunya akan mengubah kebijakan penanganan *fly ash bottom ash* untuk menekan *cost* yang ditimbulkannya.

Selain itu, penelitian ini penting dilakukan mengingat potensi pemanfaatan *fly ash bottom ash* masih tergolong tinggi. Hal ini mengingat masih belum teroptimalkannya limbah *fly ash bottom ash* PLTU X. Tercatat, dari 150 – 200 ton limbah yang dihasilkan per hari, belum seluruhnya dapat dimanfaatkan. Limbah *fly ash bottom ash* disimpan dan ditumpuk di *ash disposal*. Padahal, jika diteliti lebih lanjut, beberapa penelitian membuktikan bahwa *fly ash bottom ash* dapat dimanfaatkan untuk menetralkan air asam tambang, tentu dengan kadar tertentu. *Fly ash bottom ash* potensial digunakan untuk menetralkan air asam tambang pada lahan tambang, baik pada masa produksi maupun pasca produksi.

Pada penelitian ini, untuk menetralkan air asam tambang peneliti melakukan *treatment* untuk menetralkan air asam tambang menggunakan FABA, tawas dan campuran keduanya untuk menetralkan air asam tambang. FABA dapat digunakan untuk menetralkan air asam tambang baik pada saat produksi

maupun pasca produksi. Untuk tawas sendiri, ketersediaan dan harga tawas di pasaran relatif murah dan mudah dijangkau. Sebagai catatan, sampel *fly ash bottom ash* yang digunakan adalah *fly ash bottom ash* yang langsung diambil dari tungku pembakaran batubara.

Sehubungan dengan pemaparan di atas, maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul “Pemanfaatan *Fly Ash Bottom Ash* dan Tawas Untuk Menetralkan Air Asam Tambang” yang mana penelitian ini diharapkan dapat membantu mengoptimalkan pemanfaatan *fly ash bottom ash* dan tawas sebagai bahan untuk menetralkan air asam tambang yang merusak lingkungan.

Beberapa hal yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah peneliti tidak melakukan uji labor terhadap sampel baik, sampel *fly ash bottom ash*, tawas maupun air asam tambang, dalam meneliti komposisi mineral penyusun *fly ash bottom ash*, peneliti melakukannya lewat studi literatur. Peneliti juga tidak membahas mengenai perubahan status *fly ash bottom ash* sebagai limbah B3 (berdasarkan PP Nomor 101 tahun 2004) menjadi limbah tidak berbahaya (berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021).

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui komposisi mineral penyusun FABA, mengetahui massa optimal FABA untuk menetralkan air asam tambang, mengetahui massa optimal tawas untuk menetralkan air asam tambang serta mengetahui perbandingan massa optimal campuran FABA dan tawas untuk menetralkan air asam tambang.

2. Metodologi Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimen (*experiment research*). Penelitian eksperimen merupakan penelitian yang dilakukan secara sengaja oleh peneliti dengan cara memberikan beberapa perlakuan tertentu terhadap subjek penelitian dengan tujuan untuk membangkitkan sesuatu kejadian atau keadaan yang akan diteliti bagaimana akibatnya.

Jenis data dan sumber data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

2.1 Data primer

- Nilai pH dan sifat fisik air asam tambang CV. Air Mata Emas
- Komposisi massa *fly ash bottom ash* (FABA), tawas dan campuran keduanya dalam menetralkan air asam tambang
- Derajat keasamaan (PH) akhir hasil uji eksperimen sampel

2.2 Data sekunder

- Mineral komposisi penyusun yang terdapat pada FABA dan air asam tambang

Teknik pengumpulan data yang digunakan yakni:

- studi literatur, 2) observasi lapangan, 3) pengujian penetralan air asam tambang.

Kegiatan penentuan jumlah massa sampel *fly ash bottom ash*, tawas dan campuran keduanya sebagai

penetrant air asam tambang yang akan dilakukan pada pengujian penetralan air asam tambang. Berat massa sampel diambil berbeda-beda untuk mendapatkan hasil pengujian variatif. Adapun massa sampel yang digunakan sebagai bahan pengujian dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut:

Tabel 1. Komposisi campuran FABA dan tawas

No	FABA	Tawas	FABA + Tawas	AAT
1	0,1 gr	1 gr	1 : 0,15	200 ml
2	0,3 gr	2 gr	1 : 0,20	
3	0,5 gr	3 gr	1 : 0,50	
4	1 gr	4 gr	1 : 0,75	
5	5 gr	5 gr	1 : 1	
6			5 : 0,15	
7			5,3 : 0,15	
8			5,5 : 0,15	

Dari **Tabel** di atas, pada komposisi campuran FABA dan tawas akan dilakukan percobaan sebanyak 3 (tiga) kali yang disesuaikan dengan perbandingan yang ada. Misalnya, untuk opsi 1 campuran FABA dan tawas yaitu 1 : 0,15 akan dilakukan pengujian sebanyak 3 (tiga) kali yaitu pada massa: 1 : 0,15 ; 2 : 0,30 ; 3 : 0,45 dan seterusnya.

Mekanisme pengujian penetralan air asam tambang adalah sebagai berikut:

- Air asam tambang mula-mula dituang ke gelas ukur 250 ml sebanyak 200 ml menggunakan gelas ukur 100 ml. Selanjutnya, air asam tambang diukur pHnya menggunakan pH meter. Nantinya, air asam tambang ini akan digunakan sebagai pengontrol pengujian
- Fly ash bottom ash*, tawas dan campuran keduanya mula-mula ditimbang sesuai komposisi massa sampel yang telah ditentukan seperti pada tabel 1. Setelah dilakukan penimbangan, sampel disimpan dan dibungkus di dalam *ziplock plastic*.
- Air asam tambang dituang ke gelas ukur 250 ml sebanyak 200 ml. Jumlah gelas disesuaikan dengan jumlah sampel.
- Sampel yang telah ditimbang kemudian dicampurkan dengan air asam tambang bervolume 200 ml.
- Melakukan pengadukan menggunakan sendok atau tusuk sate, dan ditunggu beberapa saat (kira-kira 10 menit).
- Catat nilai pH air asam tambang hasil pengadukan, dan lakukan hal yang sama untuk setiap komposisi sampel yang akan diuji
- Kontrol kembali menggunakan air asam tambang yang telah disediakan sebelumnya untuk pengontrol pengujian derajat keasamannya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi Limbah FABA

Fly ash batubara merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara (Wardani, 2008). Pada pembakaran batubara dalam PLTU, terdapat limbah padat yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut *bottom ash*.

Menurut Acosta 2009 dalam Faiz 2019, abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam *furnace* pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta ditangkap dengan menggunakan elektrostatis *precipitator*. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batubara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan inorganik yang terdapat di dalam batubara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan *presipitator* elektrostatis. Karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas buangan, maka partikel-partikel *fly ash* umumnya berbentuk bulat. Partikel *fly ash* yang terkumpul pada *presipitator* elektrostatis biasanya berukuran 0,074 – 0,005 mm. Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3).

Fly ash atau abu terbang batubara pada umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Di PLTU X, FABA ditumpuk dan disimpan di area *ash disposal*. Jika tidak ditangani dengan baik, FABA ini akan menimbulkan masalah bagi lingkungan.

Berdasarkan PP Nomor 101 tahun 2014 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), FABA dikategorikan sebagai limbah B3 karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mengalami pelindihan secara alami dan mencemari lingkungan. Limbah B3 adalah suatu usaha atau kegiatan yang mengandungi bahan berbahaya beracun karena sifat atau konsentrasinya dan jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemari, merusak, membahayakan lingkungan hidup serta kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya. Pada Pasal 3 PP Nomor 101 tahun 2014 ini jelas mengatakan bahwa setiap orang yang menghasilkan limbah B3 wajib melakukan pengelolaan limbah B3 yang dihasilkannya.

Terbaru, pemerintah mengeluarkan limbah FABA dari kategori berbahaya dan beracun lewat PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Pasal 459 ayat 3 huruf C mengatakan bahwa pemanfaat limbah non B3 sebagai bahan baku. Pada lampiran PP ini disampaikan

“pemanfaatan limbah non B3 sebagai bahan baku yaitu pemanfaatan limbah non B3 khusus seperti *fly ash* batubara dari kegiatan PLTU dengan teknologi boiler minimal CPH (*Circulating Fluidized Bed*) dimanfaatkan sebagai bahan baku konstruksi pengganti semen pozzolan. Namun, walau demikian, penulis tidak melihat ke PP tersebut karena hingga saat ini, PP tersebut masih memicu polemik di tengah masyarakat. Menurut hemat penulis, alasan pemerintah mengeluarkan limbah FABA dari kategori non B3 hanya karena dapat dimanfaatkan tidak sebanding dengan dampak negatif yang ditimbulkannya.

3.1.1 Pemanfaatan FABA

FABA memiliki kemampuan menyerap air dan beberapa unsur hara sehingga dapat meningkatkan kualitas adsorbs dengan baik. Selain itu, FABA batubara juga dapat digunakan sebagai adsorben berbagai macam zat-zat polutan seperti Sox, CO, dan partikulat debu termasuk timbal (Pb). FABA juga dapat digunakan dalam bahan cetakan pada pengecoran logam karena memiliki ukuran butir jauh lebih kecil daripada pasir cetak sehingga dapat menghasilkan permukaan yang lebih halus. Selain itu, dalam PP Nomor 22 tahun 2021, FABA juga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan semen pozzolan.

3.2 Air Asam Tambang

Pada penelitian ini, air asam tambang sebagai variabel terikat diambil dari *settling pond* CV. Air Mata Emas yang terletak di Sawahlunto. Jarak antara CV. Air Mata Emas Sawahlunto ke Kota Padang sekitar 119 km, yang dapat ditempuh menggunakan kendaraan roda dua maupun kendaraan roda empat. Jarak ini dapat ditempuh sekitar 3 jam 6 menit menggunakan kendaraan roda empat. Lokasi *settling pond* dapat dilihat pada **Gambar 1** berikut ini.



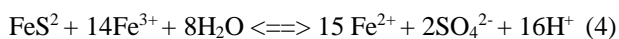
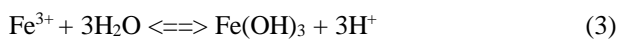
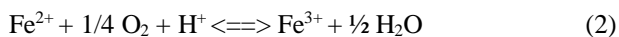
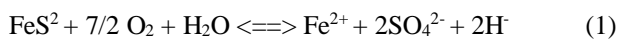
Gambar 1. *Settling Pond* CV. Air Mata Emas

Air asam tambang terbentuk di lahan tambang karena adanya mineral FeS (*pyrite*) yang teroksidasi. Air asam

tambang (*acid mine drainage/AMD*) atau air asam batuan, yang secara keseluruhan disebut sebagai air asam (*acid drainage/AD*) adalah air yang berasal dari tambang atau batuan yang mengandung mineral sulfide tertentu yang terpapar dan dalam keadaan teroksidasi.

Beberapa sulfide logam yang sering dijumpai pada wilayah pertambangan antara lain FeS (*pyrite*), FeS₂ (*marcasite*), FeSx (*pyrrhotite*), PbS (*galena*), Cu₂S (*chalcocite*), Cu S (*covellite*), CuFeS₂ (*chalcopyrite*), MoS₂ (*molybdenite*), Ni S (*millerite*), ZnS (*sphalerite*), dan FeAsS (*arsenopyrite*) (Said, 2014).

Di kawasan tambang batubara yang mengandung mineral sulfide dan oksidasi besi sulfide (FeS₂) konversi terbentuknya asam dapat terjadi melalui beberapa reaksi. Menurut Stumm & Morgan, 1996 dalam Faiz, 2019 secara umum terdapat empat persamaan reaksi utama, yaitu:



Pada persamaan (1), besi sulfide teroksidasi menghasilkan besi ferro (Fe²⁺), sulfat (SO₄²⁻) dan asam (ion H⁺). Besi ferro selanjutnya dapat teroksidasi menjadi bentuk besi ferri (Fe³⁺) seperti ditunjukkan oleh persamaan (2). Selanjutnya besi ferri terhidrolisis menjadi feri hidroksida (Fe(OH)₃) dan ion H⁺ (persamaan reaksi 3). Keasaman (acidity, H⁺) yang terbentuk dapat bertindak sebagai katalis dalam memecah *pyrite* (FeS₂), menghasilkan lebih banyak lagi ion ferro (Fe²⁺), sulfat dan H⁺ (persamaan reaksi 4). Jika reaksi seperti yang ditunjukkan pada persamaan di atas melambat atau berhenti, maka pembentukan air asam tambang juga dapat dihentikan.

Penghilangan atau pengurangan air atau oksigen dapat menghambat oksidasi *pyrite*. *Pyrite* biasanya ditemukan di bawah lapisan air (*water table*) dimana hampir tidak terdapat oksigen sama sekali, sehingga kondisi oksidasinya terbatas. Pada kondisi seperti ini biasanya tidak terjadi reaksi sama sekali. Pada saat *pyrite* terkandung di dalam batuan yang padat, hanya sebagian kecil saja yang dapat teroksidasi melalui kondisi alami. Akibatnya, asam yang terbentuk pun hanya sedikit dan seringkali terencerkan secara alamiah dan ternetralisir material alkali yang terdapat pada batuan disekitarnya. Jika sejumlah besar batuan yang mengandung *pyrite* terpecah atau terpapar akibat kegiatan penambangan, maka *pyrite* ini akan bereaksi dan menghasilkan ion Fe

atau logam lainnya, sulfat, dan H⁺ atau asam yang akan masuk ke dalam air tanah atau air permukaan.

Pada beberapa kondisi, persamaan 2 akan berjalan hanya sampai pada tahap oksidasi *pyrite* karena konversi ion ferro ke bentuk ion ferri pada kondisi abiotik berjalan lambat pada pH lebih kecil dari 5. Menurut Leathen 1952, bakteri pengoksidasi besi, terutama *thiobacillus*, dapat mempercepat reaksi tersebut. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa aktifitas bakteri juga sangat berperan dalam proses pembentukan air asam tambang.

3.2.1 Pembentukan Air Asam Tambang

Dalam penambangan batubara, timbulnya potensi pengasaman sebagian besar terjadi karena adanya mineral sulfide *pyrite* dan *marcasite*, keduanya mempunyai susunan kimia yang sama, yaitu FeS₂ (53,4 persennya berupa S). Keduanya hanya berbeda pada bentuk kristalnya.

Mineral sulfat umumnya terjadi sebagai mineral sekunder hasil pelapukan dari oksidasi mineral *pyrite*. Berbagai mineral sulfat yang sering dijumpai pada batuan di tambang batubara adalah *pickeringite*, *halotrichite*, *alunogen*, *copiapite*, *coquimbite*, dan lain-lain. Sedangkan sulfur organik yang berasal dari material asal tanaman atau dari proses diagenesis molekuler organik bukan merupakan formasi yang mengakibatkan pengasaman. Ketika timbunan material dianalisa, presentasi berat total sulfur biasanya ditentukan sebagai rerata perkiraan sulfur *pyrite* dan merupakan potensi pengasaman dari batuan.

Alkalinitas merupakan kebalikan (penetral) proses pengasaman. Alkalinitas sebagian besar terjadi karena adanya mineral karbonat yaitu kalsit dan dolomit. Mineral-mineral silikat (seperti kuarsa, kaolinite, illite, smectita, muscovite) juga dapat menetralkan pengasaman, meskipun kecepatan reaksinya jauh lebih lambat dibandingkan dengan mineral karbonat.

Diantara batuan sedimen yang mengandung lapisan batubara terdapat juga lapisan-lapisan batuan yang memiliki potensi tinggi untuk menghasilkan air asam tambang. Permukaan batuan yang teroksidasi oleh oksigen dan kemudian terkena air akan menghasilkan air asam batuan.

3.2.2 Tipe Air Asam Tambang

Menurut Skousen, 1996 dalam Faiz, 2019 air tambang dapat dikelompokkan kedalam lima tipe, yaitu:

- 1) Air Tambang Tipe I, adalah air tambang yang tidak atau sedikit mengandung alkalinitas (pH <4,5) dan mengandung Fe, Al, Mn dan logam lainnya, asam (H⁺) dan oksigen dengan konsentrasi tinggi. Air tambang tipe ini disebut air asam tambang. Air

asam tambang mungkin juga merujuk pada air yang mempunyai pH <6 dan mengandung keasaman bersih (*net acidity*) yaitu keasamannya lebih besar dari alkalinitasnya.

- 2) Air Tambang Tipe 2 adalah air tambang yang mempunyai kandungan zat padat terlarut yang tinggi, yakni kandungan besi ferro dan Mn yang tinggi, sedikit atau tanpa mengandung oksigen dan pH>6. Pada kondisi teroksidasi, pH air tipe ini dapat turun secara tajam sehingga berubah menjadi air tipe I.
- 3) Air Tambang Tipe 3, adalah air tambang yang mengandung zat padat terlarut dengan konsentrasi sedang sampai tinggi, mengandung besi ferro dan Mn dengan konsentrasi rendah sampai sedang, tanpa atau sedikit mengandung oksigen, pH > 6 dan alkalinitas lebih besar dari keasaman (*acidity*). Umumnya disebut juga dengan air tambang alkali (*alkaline mine drainage*). Pada kondisi teroksidasi, asam yang terbentuk dari hidrolisa logam dan reaksi pengendapan akan dinetralkan oleh senyawa alkali yang sudah terdapat di dalam air.
- 4) Air Tambang Tipe 4, adalah air asam tambang tipe I yang dinetralkan hingga pH-nya > 6 dan mengandung partikel tersuspensi dengan konsentrasi yang tinggi. Pengendapan hidroksida logam di dalam air belum terjadi. Dengan waktu tinggal yang cukup di dalam kolam, maka partikel tersuspensi akan mengendap.
- 5) Air Tambang Tipe 5, adalah air asam tambang yang telah dinetralkan sehingga pH-nya > 6 dan mengandung zat padat terlarut dengan konsentrasi yang tinggi. Setelah hampir seluruh hidroksida logam diendapkan di dalam kolam pengendap, kation utama yang masih tertinggal di dalam air dengan konsentrasi yang tinggi umumnya adalah kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) terlarut. Anion terlarut seperti bikarbonat dan sulfat masih tertinggal di dalam air. Jika pada proses netralisasi mengalami kekurangan alkalinitas, air tambang tipe 5 ini tidak akan terbentuk.

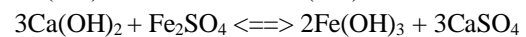
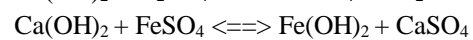
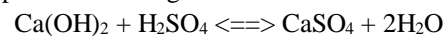
Tipe lain dari air tambang yang terjadi dari tambang yang mengandung sedikit sulfide dan karbonat dengan konsentrasi rendah sampai sedang. Air tipe ini biasanya mendekati pH netral, spesifik konduktan rendah (<100µS/mm) dan alkalinitas mendekati setimbang. Air tipe ini dikelompokkan sebagai air netral atau inert.

Diantara tipe-tipe air tambang di atas, terdapat kemungkinan adanya tipe transisi sehingga pengambilan data yang sesuai dan analisa konsentrasi logam, pH air, serta status oksigen perlu dilakukan untuk menentukan tipe atau karakteristik air tambang.

3.2.3 Pengolahan Air Asam Tambang

Pengolahan air asam tambang dengan menggunakan kimia alkali untuk meningkatkan pH air, menetralkan keasaman dan pengendapan logam. Pengolahan air asam tambang meliputi netralisasi keasaman dan presipitasi ion logam untuk memenuhi persyaratan baku mutu lingkungan. Berbagai metode alternative pengolahan dapat digunakan untuk memenuhi batas-batas yang ditentukan.

Pengolahan air asam tambang umumnya menggunakan bahan kimia yang mengandung kapur, bisa dalam bentuk CaCO₃, Ca(OH)₂, CaO atau penambahan soda kaustik (NaOH) dan amoniak (NH₃). Reaksi penetralan asam dengan bahan yang mengandung kapur adalah sebagai berikut:



3.2.4 Dampak Air Asam Tambang

Derajat keasaman atau pH air asam yang rendah pada air asam tambang menyebabkan mudahnya logam-logam tertentu larut dalam air. Adapun dampak negatif dari air asam tambang adalah:

- 1) Masyarakat di sekitar wilayah pertambangan. Dampak terhadap masyarakat di sekitar wilayah tambang tidak dirasakan secara langsung, tetapi akan dirasakan beberapa tahun kemudian. Air yang terkontaminasi dengan asam tambang banyak mengandung logam berat seperti besi yang jika dikonsumsi masyarakat secara terus menerus akan menyebabkan keracunan dan iritasi kulit bagi penduduk yang menggunakan air tersebut (Greenpeace, 2014)
- 2) Biota Perairan. Menurut Australia Mining Industry Council (AMIC 1994) dan Environmental Impact Assesment of Europe (2007) dalam Faiz 2019, bila air sungai terkontaminasi dengan air asam tambang maka biota di perairan akan berkurang atau mereka tidak akan bertahan hidup, misalnya ikan yang akan mati akibat terjadinya penyumbatan insang oleh garam-garam, besi, aluminium dan lain-lain. Selain itu, beberapa jenis nyamuk tertentu akan mencari tempat yang asam untuk bertelur dan perkembangannya dapat lebih drastis.
- 3) Terganggunya Kualitas Tanah Untuk Reklamasi. Tanah yang asam banyak mengandung logam berat seperti besi, tembaga, seng yang semua ini merupakan unsur hara mikro yang dibutuhkan tanaman, sedangkan unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman seperti fosfor, magnesium, kalsium sangat kurang. Akibatnya karena kelebihan unsur hara mikro akan menyebabkan keracunan pada

tanaman, ini ditandai dengan busuknya akar tanaman menjadi layu. Selain itu juga dapat menyebabkan meningkatnya mikroba patogen, sehingga terjadi penurunan pada mikroba tanah yang bermanfaat untuk fiksasi nitrogen.

- 4) Terhadap Bangunan dan Alat Tambang. Air asam tambang dapat menyebabkan bahan bangunan dan peralatan tambang sangat mudah mengalami korosi, bangunan semen atau beton menjadi mudah rusak, terjadi penyumbatan pada akuifer atau sumur bor akibat pengendapan besi (Costello, 2003).

3.3 Tawas

Tawas merupakan senyawa aluminium sulfat yang berfase padat dengan nama lain, alum. Senyawa tawas umumnya terdiri dari garam rangkap sulfat (SO_4). Kedudukan logam dalam tawas yang umum adalah aluminium. Dimana tawas juga merupakan produk buatan berbentuk bubuk atau kristal berwarna putih dan biasa digunakan sebagai mordant, bahan perikat dalam pewarnaan serat kain, sebagai bahan penggumpal dalam penjernihan air dan sebagai bahan pengerut (penahan darah) dalam kesehatan. Dalam air, senyawa tawas akan larut sempurna melepaskan kation aluminium, Al^{3+} dan anion SO_4^{2-} . Kation dan anion tersebutlah yang bertugas menetralkan muatan pada permukaan partikel tersuspensi sehingga pengendapan bisa segera terjadi. Tawas larut dalam air, tetapi tidak larut dalam alkohol dan di dalam udara bebas, tawas bersifat stabil (Hasmawati, 2017).

Dalam kehidupan sehari-hari, tawas dikenal biasa sebagai ammonium sulfat dodekahidrat. Tawas ini dikenal dengan nama $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ yang dikenal sebagai koagulan di dalam pengolahan air maupun limbah. Sebagai koagulan, alum sulfat sangat efektif untuk mengendapkan partikel yang melayang baik dalam bentuk koloid maupun suspensi sehingga banyak digunakan oleh PDAM dalam proses pengolahan air bersih yang nantinya didistribusikan ke masyarakat.

Senyawa tawas bersifat sedikit asam dan dapat mengalami perubahan dalam suasana basa. Tawas paling banyak digunakan sebagai bahan koagulan karena reaksi yang terjadi jika tawas dimasukkan ke dalam air limbah akan mengalami hidrolisis yang sangat dipengaruhi oleh nilai pH dari air limbah. Kristal tawas mudah larut dalam air dan kelarutannya tergantung pada jenis logam dan temperatur (Hasmawati, 2017).

Meskipun tawas banyak ditemukan di pasaran dan dijual secara bebas, hal ini tidak berarti bahwa tawas aman seratus persen. Apalagi jika dijadikan bahan campuran yang masuk ke tubuh seperti campuran air dalam makanan maupun air minum.

3.4 Kandungan Mineral FABA

Berdasarkan kajian studi literatur dan data sekunder yang diperoleh dari PLTU X tersebut, didapatkan kandungan mineral penyusun *Fly Ash* sebagaimana dalam **Tabel 1** berikut ini:

Tabel 1. Kandungan Mineral *Fly Ash*

No	Parameter Uji	Hasil Analisa (%)
1	SiO_2	44,99
2	Al_2O_3	14,96
3	CaO	14,78
4	MgO	2,74
5	SO_3	1,97
6	Na_2O	0,47
7	K_2O	0,56
8	Hilang Pijar (<i>unburnt carbon</i>)	1,29
9	Fe_2O_3	18,60

Sumber : PLTU X

Berdasarkan **Tabel 1** di atas, ditemukan kandungan mineral penyusun pada abu terbang (*fly ash*) didominasi oleh Silikon dioksida (SiO_2) yang memiliki kadar 44,99%. Selebihnya kandungan mineral penyusun pada *fly ash* tersebut berturut-turut 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%, Unburn Carbon (*Lost On Ignition/LOI*) 1,29%, Natrium Oksida (Na_2O) 0,47% dan terakhir Kalium Oksida (K_2O) dengan kadar 0,56%.

Adapun untuk kandungan mineral *bottom ash* dapat dilihat di **Tabel 2** berikut:

Tabel 2. Kandungan Mineral *Bottom Ash*

No	Parameter Uji	Hasil Analisis (%)
1	SiO_2	68,38
2	Al_2O_3	8,47
3	CaO	10,98
4	MgO	3,44
5	SO_3	0,37
6	Na_2O	0,48
7	K_2O	0,07
8	Hilang Pijar (<i>unburnt carbon</i>)	1,98
9	Fe_2O_3	6,63

Sumber : PLTU X

Berdasarkan **Tabel 2** di atas, ditemukan kandungan mineral penyusun pada abu dasar (*bottom ash*) didominasi oleh Silikon dioksida (SiO_2) yang memiliki kadar 68,38%. Selebihnya kandungan mineral penyusun

pada *bottom ash* tersebut berturut-turut adalah Kalsium Oksida / Kapur Tohor (CaO) 10,98%, Aluminium Oksida (Al₂O₃) 8,47%, Feri Oksida (Fe₂O₃) 6,63%, Magnesium Oksida (MgO) 3,44%, Unburn Carbon (*Lost On Ignition/LOI*) 1,29%, Sulfur/Belerang Trioksida (SO₃) 1,97%, Natrium Oksida (Na₂O) 0,48% dan terakhir Kalium Oksida (K₂O) dengan kadar 0,07%.

3.5 Penetralkan AAT Menggunakan FABA

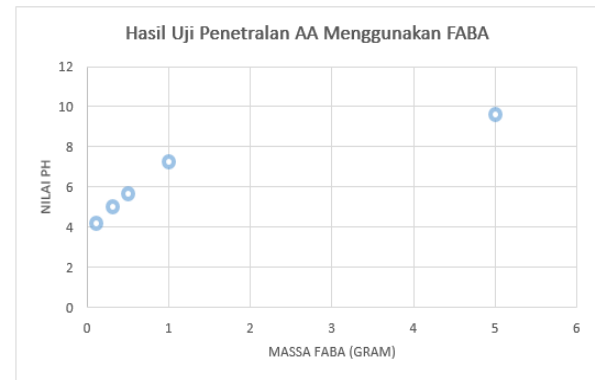
Sebagai awal pengujian eksperimen, peneliti mencoba menggunakan massa FABA dengan variasi 5 gr, 10 gr dan 15 gr. Namun, pada pengujiannya, ternyata larutan eksperimen menjadi bersifat sangat basa, serta menyisakan endapan FABA dengan tebal +5 cm. Atas dasar hal tersebut, kemudian peneliti memilih variasi di bawah 10 gr yakni 0,1 gr, 0,3 gr, 0,5 gr, 1 gr dan 5 gr.

Pengujian ini dilakukan dengan cara mencampurkan FABA dengan massa yang telah ditentukan ke dalam 200 ml air asam tambang. Setelah itu dilakukan pengadukan secara manual menggunakan batang pengaduk dan sendok. Kemudian, larutan didiamkan selama +15 menit untuk memastikan FABA bercampur dengan baik terhadap air asam tambang. Hasil pengujian penetralan air asam tambang dengan menggunakan *fly ash bottom ash* (FABA) dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Menggunakan FABA

No	Massa FABA (gr)	Volume AAT (ml)	pH Awal	pH 1	pH 2	pH 3	pH rata-rata
1	0,1	200	3,72	4,15	4,25	4,23	4,21
2	0,3			5,00	4,99	5,12	5,03
3	0,5			5,62	5,65	5,85	5,70
4	1			7,25	7,15	7,51	7,30
5	5			9,14	9,65	10,07	9,62

Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa terjadi perubahan pH air asam tambang yang cukup bervariasi, dimana pada pH awal air asam tambang 3,72 mengalami kenaikan menjadi 10,07. Selanjutnya, berdasarkan data-data pengujian eksperimen penetralan air asam tambang menggunakan FABA, didapatkan perubahan tingkat keasaman air hasil uji menggunakan FABA seperti grafik pada **Gambar 2** berikut ini.



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Penetralkan AAT

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan FABA sebanyak 1 gr terhadap 200 ml air asam tambang dengan pH 3,72 sudah mengakibatkan air asam tambang menjadi netral dengan pH 7,3. Hal ini kemudian sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara, yakni sebesar 6 – 9.

Penetralkan air asam tambang menggunakan FABA dapat dilihat dari mineral-mineral penyusun yang ada seperti MgO (*Magnesium Oksida*), Al₂O₃ (*Aluminium Oksida*), dan CaO (*Kalsium Karbonat*) yang bersifat basa. Sifat mineral ini lah yang kemudian dapat menetralkan air asam tambang

3.6 Penetralkan Air Asam Tambang Menggunakan Tawas

Pada pengujian eksperimen kali ini, pengujian mencoba memvariasikan jumlah tawas untuk menetralkan air asam tambang. Volume air asam tambang yang digunakan masih tetap 200 ml, dengan pH 3,72.

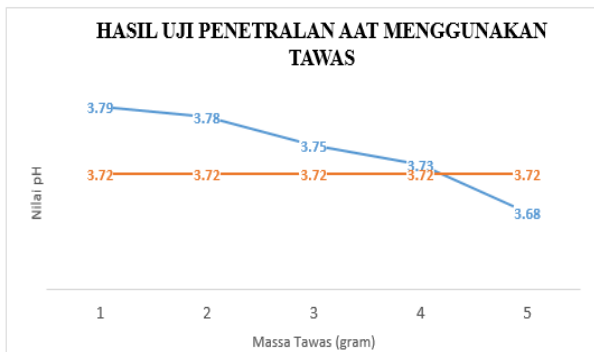
Adapun untuk variasi massa tawas yang penulis gunakan adalah 1 gr, 2 gr, 3 gr, 4 gr, dan 5 gr. Masing-masing hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4** di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian Menggunakan Tawas

No	Massa Tawas (gr)	Volume AAT (ml)	pH Awal	pH rata-rata
1	1	200	3,72	3,79
2	2			3,78
3	3			3,75
4	4			3,73
5	5			3,68

Dari **Tabel 4** di atas, dapat dilihat bahwa semakin banyak tawas yang digunakan pH air asam tambang justru semakin turun. Bahkan melewati batas pH air asam tambang aktual yang memiliki pH 3,72. Hal ini sesuai dengan penelitian Herlinawati, 2020 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. Lihat **Gambar 3** di bawah ini.



Gambar 3. Grafik Hasil Uji Penetralan AAT

3.7 Penetralan AAT Menggunakan Campuran FABA dan Tawas

Pemilihan variasi massa pada pengujian ini berdasarkan pengujian penetralan air asam tambang menggunakan FABA maupun tawas.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan di atas, 1 gr FABA dapat menetralkan air asam tambang dengan pH 3,72 dengan volume 200 ml. Sedangkan untuk tawas, berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, tawas tidak efektif untuk menetralkan air asam tambang, tetapi sangat membantu dalam mempercepat pengendapan mineral yang ada di air asam tambang tersebut. Sehingga untuk variasi massa campuran FABA ditambah tawas, penulis memilih massa dengan perbandingan FABA dan tawas 1 : 0,15 , 1 : 0,25, 1 : 0,50, 1 : 0,75, 1 : 1, 5 : 0,15, 5,3 : 0,15 dan 5,5 : 0,15.

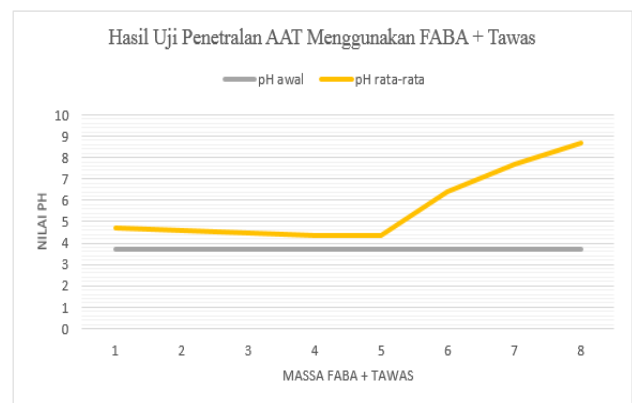
Pengujian ini dilakukan dengan cara mencampurkan 200 ml air asam tambang dengan campuran FABA dan tawas serta dilakukan pengadukan dan ditunggu sekitar 10 menit. Hasil pengujian penetralan air asam tambang dengan menggunakan campuran FABA dengan tawas dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut ini:

Tabel 4. Hasil Pengujian Menggunakan FABA& Tawas

No	Opsi	Massa FABA	Massa Tawas	pH rata-rata
1	1 : 0,15	1	0,15	4,77
		2	0,30	4,72
		3	0,45	4,60
2	1 : 0,25	1	0,25	4,66
		2	0,50	4,57
		3	0,75	4,49
3	1 : 0,50	1	0,50	4,52
		2	1	4,53
		3	1,5	4,40
4	1 : 0,75	1	0,75	4,44
		2	1,5	4,39

		3	2,25	4,33
5	1 : 1	1	1	4,43
		2	2	4,32
		3	3	4,27
6	5 : 0,15	5	0,15	6,43
7	5,3 : 0,15	5,3	0,15	7,71
8	5,5 : 0,15	5,5	0,15	8,68

Hasil pengujian pada **Tabel 4** menunjukkan bahwa pencampuran antara air asam tambang sebanyak 200 ml yang memiliki pH 3,72 dengan perbandingan massa optimal campuran FABA dan tawas 5,3 : 0,15 dapat meningkatkan pH air asam tambang menjadi 6,88 sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha atau Kegiatan Pertambangan Batubara, yaitu sebesar 6 – 9. Untuk gambar grafik lihat **Gambar 4** berikut ini:



Gambar 4. Grafik Penetralan AAT

Dilihat dari **Gambar** di atas, dapat disimpulkan bahwa penambahan tawas terhadap campuran FABA untuk menetralkan air asam tambang mengakibatkan penurunan pH bahkan hingga menyentuh pH 4,34. Sebaliknya, penambahan jumlah FABA terhadap campuran dengan kadar tawas tetap mengakibatkan peningkatan pH yang signifikan, bahkan hingga bersifat basa.

Berdasarkan pengujian penetralan air asam tambang dengan campuran FABA dan tawas dapat dilihat bahwa tawas tidak terlalu signifikan dalam mengubah pH air asam tambang, namun sangat berguna dalam mempercepat proses pengendapan FABA yang digunakan. Sebagai contoh, pada perbandingan massa 5,5 : 0,15, larutan hanya dalam waktu 3 menit sudah terlihat jernih (lihat **Gambar 5**).

Hal ini berbanding terbalik dengan penggunaan FABA tanpa campuran tawas. Sehingga penulis tetap menekankan tawas tetap diperlukan sebagai campuran FABA untuk penetralan air asam tambang agar ketika pemompaan air asam tambang selesai, pengerukan endapan dapat dilaksanakan dengan mudah.



Gambar 5. Perbandingan larutan AAT + FABA dengan AAT + FABA + Tawas

4. Kesimpulan

- 4.1 Diperoleh kandungan mineral penyusun *fly ash* sebagai berikut: 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%, Unburn Carbon (*Lost On Ignition/LOI*) 1,29%, Natrium Oksida (Na_2O) 0,47% dan terakhir Kalium Oksida (K_2O) dengan kadar 0,56%.
- 4.2 Diperoleh mineral penyusun *bottom ash* sebagai berikut: Silikon dioksida (SiO_2) yang memiliki kadar 68,38%. Selebihnya kandungan mineral penyusun pada *bottom ash* tersebut berturut-turut adalah Kalsium Oksida / Kapur Tohor (CaO) 10,98%, Aluminium Oksida (Al_2O_3) 8,47%, Feri Oksida (Fe_2O_3) 6,63%, Magnesium Oksida (MgO) 3,44%, Unburn Carbon (*Lost On Ignition/LOI*) 1,29%, Sulfur/Belerang Trioksida (SO_3) 1,97%, Natrium Oksida (Na_2O) 0,48% dan terakhir Kalium Oksida (K_2O) dengan kadar 0,07%.
- 4.3 Berdasarkan hasil pengujian eksperimen yang telah dilakukan, 1 gr FABA dapat meningkatkan pH air asam tambang 200 ml yang memiliki pH awal 3,72 menjadi 7,3. Hal ini sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan Kegiatan Pertambangan, yakni sebesar 6 – 9
- 4.4 Berdasarkan hasil pengujian eksperimen yang telah dilakukan, penggunaan tawas untuk menetralkan air asam tambang disarankan tidak digunakan. Semakin tinggi massa tawas yang digunakan, justru air asam tambang semakin bersifat asam (dari 3,72 menjadi 3,68).
- 4.5 Berdasarkan hasil pengujian eksperimen yang telah dilakukan, penggunaan campuran FABA dan tawas dengan perbandingan 5 : 0,30 dapat meningkatkan
- pH air asam tambang dengan volume 200 ml pH 3,72 menjadi 7,71 dan sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan Kegiatan Pertambangan, yakni sebesar 6-9.
- Dari ketiga pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pencampuran sampel air asam tambang dengan campuran FABA dan tawas adalah pencampuran paling efektif untuk dimanfaatkan sebagai penetralan air asam tambang. Penggunaan tawas bermanfaat untuk mempercepat pengendapan sehingga mempercepat penyaliran air asam tambang ke pembuangan akhir atau dialirkan kembali ke aliran air sungai/pertanian.

Daftar Pustaka

- 1) Adha, Chairul. 2017. *Analisis Efektifitas Kapur Tohor dan Zeolit Untuk Peningkatan pH dan Penurunan Kandungan Logam Fe dan Cu Pada Pengolahan Air Asam Tambang*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- 2) Damayanti, Retno. 2018. *Abu Batubara dan Pemanfaatannya: Studi Tinjauan Teknis Karakteristik Secara Kimia dan Toksikologinya*. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara. Vol 14, No. 13.
- 3) Greenpeace. 2014. *Coal Mine Drainage : Innovative Treatment Technologies*. National Network of Environmental Management Studies Fellow. Washington DC
- 4) Gunawan, Firman.dkk. 2014. *Penelitian dan Pengembangan Sistem Pengelolaan Air Asam Tambang di Lati Mine Operation*. Bandung: ITB
- 5) Herlina, Ayu. 2018. *Pengaruh Fly Ash dan Kapur Tohor Pada Netralisasi Air Asam Tambang Terhadap Kualitas Air Asam Tambang (pH, Fe dan Mn) di IUP Tambang Air Laya PT. Bukit Asam (Persero), Tbk*. Palembang: Universitas Sriwijaya
- 6) Herlinawati, Mei Dwi. 2020. *Metoksilasi a-Pinena Dengan Alum Kalium [$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$] Sebagai Katalis Menggunakan Microwave*. Semarang. Universitas Negeri Semarang
- 7) Jaedun, Amat. 2011. *Metodologi Penelitian Eksperimen*. Yogyakarta: Fakultas Teknik UNY.
- 8) Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara
- 9) Kinasti, Mekar. 2017. *Pemanfaatan Limbah Pembakaran Batubara (Bottom Ash) Pada PLTU Suralaya Sebagai Media Tanam Dalam Upaya Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Jurnal TTPLN Vol. 6. No. 02.
- 10) Mulya, Widya. 2011. *Kajian Penggunaan Dosis Efektif Bahan Kimia (Tawas, Kapur dan Kaporit) Dalam Pengolahan Air*. Balikpapan. Universitas Balikpapan
- 11) Oktafiansyah, Muh. 2020. *Kajian Teknis dan Ekonomis Pengaruh Jenis Kapur dalam Upaya Pengelolaan Air Asam Tambang*. Jurnal Teknik Kebumihan, Vol 05. No 02.

- 12) Rahman, Arif. 2020. *Analisis Ekstraksi dan Karakteristik Silika dari Limbah Padat Fly Ash dan Bottom Ash Hasil Pembakaran Batubara Menggunakan Metode Asam dengan Larutan NaOH dan HCL*. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- 13) Ramadhan, Faiz. 2019. *Pemanfaatan Limbah FABA (Fly Ash dan Bottom Ash) PLTU Sijantang Untuk Menetralkan Air Asam Tambang*. Padang: UNP
- 14) Said, Nusa. 2014. *Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara*. JAI Vol. 7. No.2
- 15) Widyaningsih, Triatmi. 2015. *Pemanfaatan Daun Kelor (Moringa Oleifera) dan Tawas Sebagai Bahan Penjernih Air Sumur Gali*. Jurnal Rekayasa Lingkungan Vol. 15. No 02.