

## Studi Pendahuluan Efektivitas Penggunaan Fly Ash dalam Pengolahan Air Asam Tambang pada Tambang Batubara di PT XYZ Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur

Devi Ulfa Yunita<sup>\*</sup>, Sri Widayati, Dudi Nasrudin Usman

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

\* yunitaulfadevi@gmail.com,  
dudinasrudinmining@gmail.com

widayati\_teknik@yahoo.com,

**Abstract.** Based on the Regulation of the Minister of Environment and Forestry of the Republic of Indonesia Number 5 of 2022 concerning Wastewater Treatment for Mining Businesses and Activities, the resulting coal wastewater must meet the established standard quality standards it is necessary to treat wastewater so that it does not pollute the environment environment and interfere with human health. Management of acid mine drainage can be done by adding chemicals to neutralize the pH of acid mine drainage, one of which is by using fly ash. This research was conducted to determine the effectiveness of the use of fly ash in neutralizing the pH of the water and reducing the levels of Fe and Mn metals in the settling pond using several measurement and testing parameters, namely measuring the degree of acidity and testing the levels of Fe and Mn metals. The test results for 31 days showed that the average incoming water discharge was 614,462 l/day, the average pH value before handling was 5.64, the moderate Fe metal content before handling was 8.58 mg/l, and the average Mn content before handling of 5.60 mg/l. From the test results, it was found that the required amount of fly ash was 16,066 g/day. The effectiveness of increasing the average pH was 20.52%, the effectiveness of reducing Fe metal levels was 46.37%, and the effectiveness of reducing Mn levels was 40.99%.

**Keywords:** *Acid Mine Drainage, Active Method, Fly Ash.*

**Abstrak.** Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2022 Tentang Pengolahan Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan bahwa air limbah batubara yang dihasilkan harus memenuhi nilai baku mutu standar yang sudah ditetapkan, maka perlu dilakukan pengolahan air limbah agar tidak mencemari lingkungan sekitar dan mengganggu kesehatan manusia. Pengolahan air asam tambang dapat dilakukan dengan menambahkan bahan kimia untuk menetralkan pH air asam tambang, salah satunya dengan menggunakan fly ash. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas penggunaan fly ash dalam menetralkan pH air dan menurunkan kadar logam Fe dan Mn di settling pond dengan menggunakan beberapa parameter pengukuran dan pengujian, yaitu pengukuran derajat keasaman dan pengujian kadar logam Fe dan Mn. Hasil pengujian selama 31 hari didapatkan rata – rata debit air yang masuk sebesar 614.462 l/hari, rata – rata nilai pH sebelum penanganan sebesar 5,64, rata – rata kadar logam Fe sebelum penanganan sebesar 8,58 mg/l, dan rata – rata kadar logam Mn sebelum penanganan sebesar 5,60 mg/l. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan jumlah kebutuhan fly ash sebesar 16.066 g/hari. Efektivitas kenaikan pH rata – rata sebesar 20,52%, efektivitas penurunan kadar logam Fe rata – rata sebesar 46,37%, dan efektivitas penurunan kadar logam Mn rata – rata sebesar 40,99%.

**Kata Kunci:** *Air Asam Tambang, Metode Aktif, Fly Ash.*

## A. Pendahuluan

Pertambangan batubara di Indonesia dilakukan dengan cara tambang terbuka, penambangan dengan cara tambang terbuka dilakukan karena letak deposit yang berada di dekat permukaan. Dampak negatif tambang terbuka adalah adanya perubahan sifat fisik dan kimia pada air dan tanah. Air tambang yang mengalir atau melintasi batuan sulfida lalu teroksidasi dan membentuk larutan asam menyebabkan terbentuknya Air Asam Tambang (Acid Mine Drainage). Dalam proses pembentukan air asam tambang, air asam tersebut dapat melarutkan logam yang ada pada batuan sulfida dan menghasilkan racun. Kemudian jika air asam tambang ini dilepas, maka dapat mencemari air permukaan, dan merusak kehidupan biota, vegetasi, serta kehidupan lainnya. Air asam tambang ini dapat bertahan dan terus akan berlangsung selama mineral sulfida pada batuan masih ada.

Pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar bagi pembangkit listrik menghasilkan limbah yang berasal dari proses pembakaran berupa material – material yang terbang dan terendapkan. Limbah tersebutlah yang dimanfaatkan sebagai penetral air asam tambang. Fly ash batubara mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), fero oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ). Juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ), alkalin ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ), sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), pospor oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dan karbon. Kemampuan fly ash untuk menetralkan sangat tergantung pada komposisi penyusunnya. Kapasitas penghilangan kontaminan dari fly ash sangat bergantung pada kandungan  $\text{CaO}$ . Fly ash mempunyai sifat alkalinitas[11].

Pengaruh bahaya dan dampak air asam tambang pada lingkungan sekitar yang besar, maka pelaku usaha pertambangan harus bertanggungjawab dalam pengolahan dampak negatif tersebut agar tidak mencemari lingkungan sekitar dan mengganggu kesehatan manusia. Pengolahan air asam tambang dapat dilakukan dengan menambahkan bahan kimia untuk meningkatkan pH air asam tambang, salah satunya dengan menggunakan fly ash. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dalam penelitian ini dilakukan pengujian efektivitas penggunaan fly ash untuk mengetahui volume yang tepat dalam penggunaan untuk menetralkan pH dan logam terlarut dalam air asam tambang agar memenuhi baku mutu standar berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2022 Tentang Pengolahan Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui nilai pH air pada settling pond.
2. Mengetahui kadar logam besi (Fe) dan logam mangan (Mn) pada air di settling pond.
3. Mengetahui jumlah yang dibutuhkan dari fly ash dalam menetralkan pH air di settling pond.
4. Mengetahui efektifitas penggunaan fly ash.

## B. Metodologi Penelitian

Air Asam Tambang (AAT) merupakan air yang dihasilkan dari lokasi pertambangan yang mengalir mengenai pelapukan mineral sulfur atau sulfida yang terdapat pada batuan, atau beberapa limbah hasil dari kegiatan pertambangan. Air asam tambang memiliki pH rendah ( $\text{pH} < 7$ ) sebagai dampak adanya suatu potensi keasaman batuan sehingga menimbulkan masalah bagi kualitas air, dimana pembentukannya dipengaruhi oleh tiga faktor utama yaitu air, oksigen dan batuan yang mengandung mineral-mineral sulfida[8].

Terbentuknya air asam tambang dalam kegiatan penambangan tidak dapat dihindari. Hal ini disebabkan karena pada dasarnya penambangan merupakan kegiatan pembongkaran mineral dari batuan induk untuk kemudian diangkut, diolah dan dimanfaatkan sehingga dalam proses penambangan terjadi penyingkapan batuan[7].

Keterbentukan air asam tambang dapat dipengaruhi oleh beberapa mineral sulfur yang dapat dijumpai di daerah pertambangan yaitu seperti mineral pirit, markasit, pirotit, kalkosit, kovelit, kalkopirit, molibdenit, milerit, galena, sfalerit, arsenopirit, dan bornit. Jika terdapat material yang mengandung mineral sulfur tersebut, kemudian terekspos maka mineral – mineral tersebut akan teroksidasi karena terpapar air dan udara. Oksidasi tersebutlah yang

dapat mengasikkan larutan yang asam dan kaya akan sulfat. Larutan ini disebut dengan air asam tambang[5].



Sumber: Lottermoser, 2015

**Gambar 1.** Contoh AAT yang Mengalir ke Lingkungan

Pengelolaan air asam tambang dengan perlakuan aktif dapat dilakukan dengan menambahkan bahan kimia atau agen penetralisir keasamaan secara terus menerus. Penambahan bahan alkalin ini dapat meningkatkan pH yang awalnya asam menjadi netral. Bahan alkalin atau penetral asam yang biasa digunakan yaitu batu kapur, kapur tohor, abu terbang (fly ash), dan lain sebagainya[4].

Abu batubara dapat pula dimanfaatkan baik sebagai bahan penetral limbah air asam tambang yang sekaligus berfungsi sebagai pengabsorb logam-logam berat yang ada dalam limbah tersebut maupun sebagai bahan pembenah tanah di lokasi pertambangan. Namun demikian pada pemanfaatan ini masih perlu kajian secara detail terkait keekonomian mengingat untuk bahan penetral dan pengabsorb, kebutuhan abu diperkirakan akan cukup besar yakni mencapai 10% abu batubara per liter limbah[3]. Pemanfaatan abu limbah pembakaran batubara dari PLTU ini diharapkan mampu mengurangi penumpukan abu batubara secara signifikan melalui pemanfaatannya sebagai bahan untuk pengolahan limbah air asam tambang dari Industri Penambangan Batubara.

Berikut ini merupakan nilai baku mutu air limbah dari pertambangan batubara, menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2022 Tentang Pengolahan Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan.

**Tabel 1.** Baku Mutu Air Limbah Pertambangan Batubara dan Lignit

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Derajat Keasaman (pH)		6-9	6-9
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	400	200
Besi (Fe) Total	mg/l	7	7
Mangan (Mn) Total	mg/l	4	4
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/l	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/l	100	100

### C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

#### Jumlah Debit pada Settling Pond

Air pada kolam pengendapan (settling pond) merupakan air yang berasal dari kolam penampungan (sump). Pada daerah penelitian memiliki debit air terkecil sebesar 4 l/s dan debit air terbesar sebesar 11,33 l/s dengan debit rata – rata sebesar 7,11 l/s atau 614.462 l/hari. Berdasarkan data debit air yang telah diambil, terdapat beberapa kolam pengendapan yang tidak teraliri air dikarenakan adanya kegiatan penanganan kolam, seperti pada SP 6 hari ke-30 penelitian.

**Tabel 2.** Debit Air

<i>MONITORING SETTLING POND</i>								
Tanggal	Debit (m <sup>3</sup> /s)						Rata-rata (m <sup>3</sup> /s)	Rata-rata (l/s)
	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5	SP 6		
1	0,006	0,006	0,008	0,007	0,008	0,008	0,007	7,167
2	0,004	0,005	0,01	0,006	0,005	0,007	0,006	6,167
...	...	...	...	...	...	...	...	...
30	0,003	0,005	0,002	0,007	0,002		0,004	3,8
31	0,007	0,005	0,002	0,015	0,02	0,01	0,01	9,833

**Nilai pH pada Settling Pond**

Berdasarkan hasil pengukuran derajat keasaman seperti pada Tabel 3, pada settling pond daerah penelitian memiliki kadar pH rata – rata sebesar 5,64. Nilai pH tersebut menunjukkan kadar pH yang tidak aman berdasarkan baku mutu standarnya yaitu 6-9. Maka dari itu, pada penelitian ini dicari dosis yang paling optimal untuk menaikkan pH dan efektifitas keberhasilannya.

**Tabel 3.** Hasil Pengukuran Derajat Keasaman

<i>MONITORING SETTLING POND</i>							
Tanggal	pH						Rata Rata
	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5	SP 6	
1	5,75	5,79	5,72	5,85	5,83	5,89	5,805
2	5,87	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,812
...	...	...	...	...	...	...	...
30	5,4	5,45	5,68	5,8	5,54		5,574
31	5,32	5,44	5,53	5,88	5,55	5,65	5,562

**Kandungan Logam Fe**

Berdasarkan hasil pengujian kadar logam Fe seperti pada Tabel 4, pada settling pond daerah penelitian memiliki kadar rata – rata sebesar 8,58 mg/l. Kadar tersebut menunjukkan kadar yang tidak aman berdasarkan baku mutu standarnya yaitu sebesar 7 mg/l. Maka, dilakukannya treatment untuk menurunkan kadar logam Fe menjadi sesuai dengan baku mutu standarnya.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Kadar Logam Fe

<i>MONITORING SETTLING POND</i>							
Tanggal	Fe						Rata Rata
	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5	SP 6	
1	8,39	8,39	8,97	8,56	8,32	8,58	8,535
2	8,82	8,82	8,51	8,69	8,51	8,82	8,695
...	...	...	...	...	...	...	...
30	8,45	8,45	9,2	8,64	8,33		8,614
31	8,87	8,87	9,15	8,66	8,66	9,5	8,952

**Kandungan Logam Mn**

Berdasarkan hasil pengujian kadar logam Mn seperti pada Tabel 5, pada settling pond daerah penelitian memiliki kadar rata – rata sebesar 5,600 mg/l. Kadar tersebut menunjukkan kadar yang tidak aman berdasarkan baku mutu standarnya yaitu sebesar 4 mg/l. Maka, dilakukannya treatment untuk menurunkan kadar logam Mn menjadi sesuai dengan baku mutu standarnya.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Kadar Logam Mn

<i>MONITORING SETTLING POND</i>							
Tanggal	<i>Mn</i>						Rata Rata
	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5	SP 6	
1	5	5,02	6,07	6,02	6,08	5,02	5,535
2	5	6,04	6,08	5,05	6,07	5,07	5,552
...	...	...	...	...	...	...	...
30	6,01	5,05	5,05	6,08	5,06		5,45
31	6,08	6,06	5,1	6,09	5,08	5,1	5,585

**Hasil Penanganan AAT**

Berdasarkan keadaan settling pond pada daerah penelitian, maka metode yang paling tepat dalam menangani Air Asam Tambang pada daerah penelitian yaitu menggunakan metode aktif. Metode aktif ini merupakan salah satu metode yang dapat dipakai untuk menanggulangi Air Asam Tambang dengan cara menambahkan suatu bahan kimia yang berfungsi menjadi agen penetral Air Asam Tambang. Penggunaan metode aktif ini sangat efektif dalam menghilangkan sifat asam lebih cepat, yang mana hal tersebut dapat mempercepat proses pengendalian lebih cepat dan tepat.

Pada penelitian ini digunakan fly ash sebagai agen penetralnya yang akan dicampurkan langsung kedalam saluran inlet secara berkala sesuai dengan debit air yang masuk perharinya.

Berdasarkan hasil pengujian jumlah kebutuhan fly ash, terlihat adanya kenaikan nilai pH menjadi 7 pada dosis 17gr/250ml dengan waktu pengadukan 30 menit. Maka untuk jumlah kebutuhan perliternya didapatkan hasil 68 g/l. Jumlah kebutuhan tersebutlah yang akan diberikan kedalam settling pond perharinya berdasarkan nilai pH kolam pengendapan dan debit air yang masuk perharinya.

Dari hasil perhitungan jumlah kebutuhan fly ash untuk menetralkan pH kolam pengendapan didapatkan total kebutuhan fly ash dalam satu bulan yaitu sebesar 481.987 kg atau setara dengan 481,98 ton. Kebutuhan rata – rata fly ash yang diperlukan dalam satu harinya sebesar 16.066 kg atau setara dengan 16,06 ton. Berikut merupakan perhitungan jumlah kebutuhan fly ash per hari (contoh Hari ke-1):

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Fly Ash } x &= x_1 + \frac{(y-y_1)}{(y_2-y_1)}(x_2 - x_1) \\ &= 0 \text{ g/l} + \frac{(5,805-3,4)}{(7-3,4)}(68 \text{ g/l} - 0 \text{ g/l}) \\ &= 45,428 \text{ g/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Fly Ash } x' &= x_2 - x \\ &= 68 \text{ g/l} - 45,428 \text{ g/l} \\ &= 22,572 \text{ g/l} \end{aligned}$$

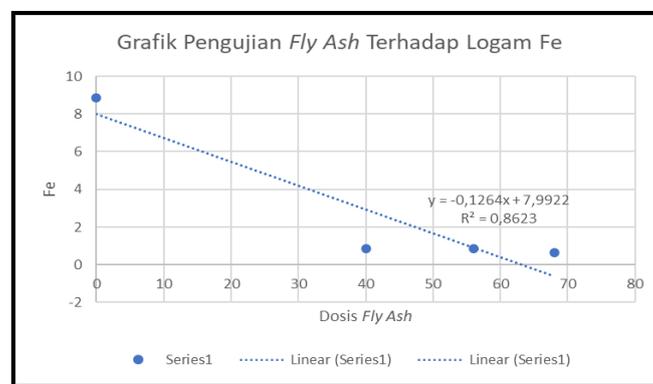
$$\begin{aligned} \text{Waktu penanganan} &= \text{debit} \times 3600 \times 24 \\ &= 7,167 \text{ l/s} \times 3600 \text{ s} \times 24 \text{ jam} \\ &= 619.200 \text{ l/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Fly Ash/hari} &= \text{kebutuhan FA per liter} \times \text{waktu penanganan} \\ &= 22,572 \text{ g/l} \times 619.200 \text{ l/hari} \end{aligned}$$

$$= 13.976.720 \text{ g/hari}$$

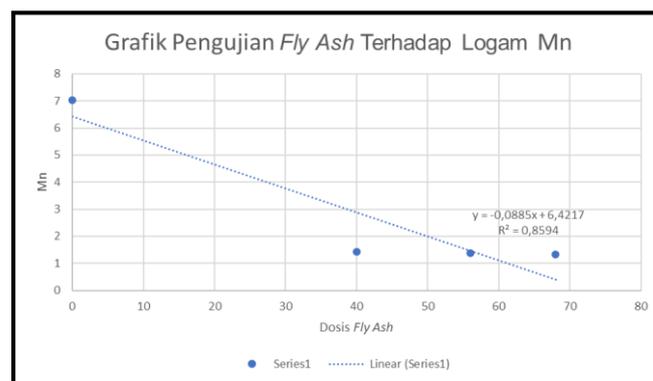
Persentase efektivitas kenaikan nilai pH dalam penanganan air asam tambang menggunakan fly ash sebesar 22,34% untuk kenaikan pH terbesar dan 18,15% untuk kenaikan pH terkecil. Besarnya persentase efektivitas kenaikan nilai pH bergantung kepada nilai pH awalnya. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai pH awal rata – rata kolam pengendapan sebesar 5,643, dimana untuk mencapai nilai pH netral = 7 maka efektivitas kenaikan pH memiliki persentase yang kecil. Efektivitas kenaikan pH ini juga memperlihatkan hubungannya dengan kebutuhan fly ash adalah berbanding lurus, dimana semakin besar nilai efektivitasnya maka akan semakin besar pula jumlah kebutuhan fly ash yang dibutuhkan.

Dapat dilihat pada Gambar 2, diketahui kadar logam Fe mengalami penurunan pada saat diberikan fly ash. Hasil perhitungan penurunan kadar logam Fe menggunakan linier regresi menunjukkan persentasi rata – rata penurunan kadar logam Fe sebesar 46,372%. Kadar rata – rata logam Fe sebelum dilakukan treatment sebesar 8,584 mg/l dan setelah dilakukannya treatment menjadi sebesar 4,603 mg/l.



**Gambar 2.** Grafik Pengujian Fly Ash Terhadap Logam Fe

Dapat dilihat pada Gambar 3, diketahui kadar logam Mn mengalami penurunan pada saat diberikan fly ash. Hasil perhitungan penurunan kadar logam Mn menggunakan linier regresi menunjukkan persentasi penurunan kadar logam Mn sebesar 40,992%. Kadar rata – rata logam Mn sebelum dilakukan treatment sebesar 5,600 mg/l dan setelah dilakukannya treatment menjadi sebesar 3,304 mg/l.



**Gambar 3.** Grafik Pengujian Fly Ash Terhadap Logam Mn

#### D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian derajat keasaman pada settling pond daerah penelitian bahwa didapatkan nilai pH rata – rata sebelum penanganan yaitu sebesar 5,643 dan nilai pH

- setelah penanganan yaitu sebesar 7,1.
2. Berdasarkan pengujian kadar logam besi (Fe) dan logam mangan (Mn) pada settling pond daerah penelitian menunjukkan kadar rata – rata logam besi (Fe) sebelum penanganan sebesar 8,584 mg/l dan kadar rata – rata logam besi (Fe) setelah penanganan sebesar 4,603 mg/l. Kadar rata – rata logam mangan (Mn) sebelum penanganan sebesar 5,600 mg/l dan kadar rata – rata logam mangan (Mn) setelah penanganan sebesar 3,304 mg/l.
  3. Berdasarkan hasil pengujian jumlah kebutuhan, didapatkan jumlah fly ash untuk menetralkan pH kolam pengendapan dalam satu bulan yaitu sebesar 481.987 kg atau setara dengan 481,987 ton. Kebutuhan rata – rata fly ash yang diperlukan dalam satu harinya sebesar 16.066 kg atau setara dengan 16,066 ton.
  4. Efektivitas kenaikan pH rata – rata sebesar 20,523%, efektivitas penurunan kadar logam Fe sebesar 46,372%, dan efektivitas penurunan kadar logam Mn sebesar 40,992%

### Acknowledge

1. Terimakasih penyusun ucapkan kepada orangtua penyusun yaitu Mamah Chandra dan Bapak Djuni yang telah menyayangi, membimbing, dan merawat penyusun dengan penuh kasih sayang dan kesabaran yang tiada batasnya.
2. Terimakasih kepada kakak sepupu Salma Nabila, yang telah memberikan nasihat selama perkuliahan serta selalu menghibur, menemani, dan membantu penyusun dalam menghadapi berbagai macam kondisi.
3. Terimakasih kepada Tim AAT yaitu Wahyu, Aziz dan Gumilar sudah menjadi teman diskusi yang baik dan terimakasih telah berjuang bersama.
4. Terimakasih kepada Aisyi, Friska dan Shania yang selalu menemani dari awal kuliah, membagi ilmunya selama perkuliahan, serta tidak lupa selalu menasehati penyusun.
5. Terkhusus dan paling spesial saya ucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada Alif Adityantono dan keluarga tambang 18 yang telah memberikan kenangan indah selama perkuliahan dengan keanekaragaman sifat dan karakter dari setiap orangnya, terimakasih juga sudah mengajarkan kepada penyusun banyak hal baru.

### Daftar Pustaka

- [1] Alghifary, F., Widayati, S., dan Solihin. 2020. Karakteristik Batubara dan Terbentuknya Air Asam Tambang di Tambang Batubara PT GHI Provinsi Kalimantan Timur. *Prosiding Teknik Pertambangan* Volume 6, No. 2. Universitas Islam Bandung.
- [2] Badan Pusat Statistik, 2022. Kabupaten Kutai Kartanegara dalam Angka 2022. *Statistic Kutai Kartanegara*.
- [3] Damayati, R. 2018. Abu Batubara Dan Pemanfaatannya: Tinjauan Teknis Karakteristik Secara Kimia Dan Toksikologinya. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* Volume 14, Nomor 3.
- [4] Fitrah, H. 2019. *Air Asam Tambang Dan Kesuburan Tanah*. Mataram : Lafadz Jaya.
- [5] Gautama, R.S. 2012. *Pengelolaan Air Asam Tambang*. Fakultas Teknik Pertambangan & Perminyakan Institut Teknologi Bandung.
- [6] Lottermoser, B. 2015. *Predicting Acid Mine Drainage : Past, Present, Future*. Aachen: University Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH).
- [7] Mansyur, A. 2014. *Studi Potensi Pembentukan Air Asam Tambang Lapisan Tanah Penutup (Overburden) Tambang Batubara Menggunakan Leach Column Test, Flooding Test dan Nag Test*. Diss. Universitas Pendidikan Indonesia.
- [8] Munawar, A. 2017. *Pengelolaan Air Asam Tambang: Prinsip-Prinsip Dan Penerapannya*. Bengkulu : Universitas Bengkulu.
- [9] Nufasiha, & Ginting. 2020. Simulasi Pengolahan Air Asam Tambang Menggunakan Open Limestone Channel Skala Laboratorium. *Jurnal Geomine*, Volume 8, Nomor 1: April 2020, Hal. 32- 43.

- [10] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia. Nomor 5 Tahun 2022. Pengolahan Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan.
- [11] Said, M.S., Nurhawaisyah, S.R., Juradi, M.I., Asmiani, N., & Kusuma, G.J. 2019. Analisis Kandungan Fly Ash Sebagai Alternatif Bahan Penetral Dalam Penanggulangan Air Asam Tambang. *Jurnal Geomine*, Volume 7, Nomor 3: Hal. 163-170.
- [12] Samosir, G.B.G. 2021. Pemanfaatan Fly Ash Bottom Ash Dan Tawas Untuk Menetralkan Air Asam Tambang. *Jurnal Bina Tambang*, Vol.6, No.4.
- [13] Standar Nasional Indonesia. 2008. Air Dan Air Limbah – Bagian 59: Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. Badan Standarisasi Nasional. Senayan Jakarta.
- [14] Standar Nasional Indonesia. 2019. Air Dan Air Limbah – Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (Ph) Dengan Menggunakan pH Meter. Badan Standarisasi Nasional. Senayan Jakarta.
- [15] Standar Nasional Indonesia. 2009. Air dan Air Limbah Bagian 4 tahun 2009 Cara uji besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala. Badan Standarisasi Nasional. Senayan Jakarta.
- [16] Standar Nasional Indonesia. 2009. Air dan Air Limbah Bagian 4 tahun 2009 Cara uji mangan (Mn) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala. Badan Standarisasi Nasional. Senayan Jakarta.
- [17] Shokouhi, A., D.J. Williams, and A.K. Kho. 2014. Settelement and collapse behaviour of coal mine spoil and washery wastes. In *Proceedings Tailings and Mine Waste 214*. Keystone, Colorado, USA.
- [18] Situmorang, B.N. 2014. Sintesis Zsm-5 Dari Abu Terbang Batubara Pltu PT. Bukit Asam (Persero), Tbk Dengan Variasi Waktu Kristalisasi Dan Rasio SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Politeknik Negeri Sriwijaya.