



## Optimalisasi Penggunaan Fly Ash Untuk Reduksi Kadar Besi (*Fe*) Dan Mangan (*Mn*) Serta Peningkatan pH Dalam Air Asam Tambang

Rofi Taufiqurrahman <sup>1</sup>, Shalaho Dina Devy <sup>2</sup>, Windhu Nugroho <sup>3</sup>, Agus Winarno <sup>4</sup>,  
Henny Magdalena <sup>5</sup>

<sup>1-5</sup> Universitas Mulawarman, Indonesia

**Abstract:** Coal mining activities often result in acid mine drainage (AMD), which can cause environmental pollution if not properly managed. This study aims to evaluate the potential use of fly ash from the Stream Power Plant (PLTU) Tenggarong to mitigate the impacts of AMD, specifically targeting iron (*Fe*), manganese (*Mn*), and pH parameters. Acid Mine drainage is formed when sulfide minerals oxidize, producing acidic compounds that can harm the environment. This research focuses on analyzing the ability of fly ash to adsorb iron and manganese from AMD solutions, as well its capability to increase solution pH. Based on the conducted research, the optimum pH value was achieved when using 10 grams and 15 grams of fly ash in the adsorption process. The optimum concentration of iron (*Fe*) was attained using 10 grams to 15 grams of fly ash, while for manganese (*Mn*), it was achieved with 20 grams to 25 grams of fly ash. The adsorption process using 25 grams of fly ash showed the highest efficiency in reducing iron (*Fe*) concentration by 93.78 % and manganese (*Mn*) concentration by 75.47 %.

**Keywords:** Fly Ash, Acid Mine Drainage (AMD), Iron (*Fe*), Manganese (*Mn*), pH, Adsorption

**Abstrak:** Kegiatan penambangan batubara seringkali menghasilkan air asam tambang (AAT), yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika tidak ditangani dengan baik. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengevaluasi potensi penggunaan fly ash dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tenggarong dalam mengurangi dampak AAT, khususnya terhadap parameter besi (*Fe*), mangan (*Mn*), dan pH. Air asam tambang terbentuk ketika mineral sulfida teroksidasi, menghasilkan senyawa asam yang dapat merusak lingkungan. Metode penelitian ini akan fokus pada analisis kemampuan fly ash dalam mengikat besi dan mangan dari larutan air asam tambang, serta kemampuannya dalam meningkatkan pH larutan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh nilai optimum pH terjadi saat menggunakan 10 gr dan 15 gr fly ash dalam proses adsorpsi. Konsentrasi optimum besi (*Fe*) tercapai dengan menggunakan 10 gr – 15 gr fly ash, sementara untuk mangan (*Mn*) diperoleh pada 20 gr – 25 gr fly ash. Proses adsorpsi menggunakan 25 gr fly ash menunjukkan efisiensi tertinggi dalam penurunan konsentrasi besi (*Fe*) sebesar 93,78 % dan mangan (*Mn*) sebesar 75,47%.

**Kata Kunci:** Fly Ash, Air Asam Tambang (AAT), Besi (*Fe*), Mangan (*Mn*), pH, Adsorpsi

### 1. PENDAHULUAN

#### a. Latar Belakang

Kegiatan penambangan batubara dapat menimbulkan air asam tambang jika terdapat mineral sulfida yang teroksidasi. Potensi air asam tambang harus diketahui agar langkah-langkah pencegahan dan pengendaliannya dapat dilakukan sehingga permasalahan terhadap lingkungan dapat diatasi serta tidak menjadi persoalan dikemudian hari, baik tambang tersebut masih aktif ataupun setelah tambang tersebut tidak beroperasi lagi.

Secara umum, penanganan air asam tambang ada dua cara yaitu secara aktif dan pasif. Penggunaan serbuk kapur yang dimasukkan di saluran air asam tambang merupakan penanganan secara aktif, sedangkan penanganan secara pasif dilakukan dengan cara mengalirkan air asam pada aliran yang mengandung kapur (Herlina, 2014).

Pencegahan air asam tambang dapat dilakukan dengan melakukan upaya recovering material yang berpotensi membentuk air asam tambang yaitu material PAF (Potentially Acid Forming) dengan menggunakan material yang tidak berpotensi NAF (Non Acid Forming). Sehingga dapat menghentikan atau mengurangi kontak antara mineral besi sulfida dengan udara atau air. Namun, keberadaan material NAF seringkali tidak ditemukan dalam jumlah yang banyak untuk dapat mengisolasi seluruh material PAF. Oleh karena itu, diperlukan material lain sebagai alternatif dalam pencegahan pembentukan AAT. Salah satu material yang memiliki potensi untuk dapat digunakan yakni Fly Ash yang merupakan hasil pembakaran batubara di PLTU dikarenakan fly ash mengandung kalsium oksida (CaO) yang dapat menetralkan air (Syaefudin, 2020).

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana proses pengujian dan pemanfaatan fly ash untuk penurunan parameter Besi (Fe), Mangan (Mn) dan menaikkan pH terhadap air asam tambang. penelitian ini hanya berskala laboratorium serta sampel air asam di ambil di settling pond tambang terbuka dan fly ash di ambil dari PLTU Tenggarong.

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Proses Pembentukan Air Asam Tambang**

Skousen (1998) dan Emer (2005) dalam Devy (2009), menguraikan, sebelum terbentuk endapan feri hidroksida, terdapat dua proses yang terlibat dalam pembentukan air asam ( $H^+$ ) dari besi sulfida ( $FeS_2$ ), yaitu oksida sulfida ( $S^{2-}$ ) menjadi sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) dan oksidasi besi fero ( $Fe^{2+}$ ) menjadi besi ferri ( $Fe^{3+}$ ), yang selanjutnya menghasilkan endapan ferri hidroksida.

### **2.2 Fly ash**

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 (Samosir & Har, 2021).



**Gambar 2.1 Fly ash**

Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam furnace pada PLTU yang kemudian dibawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta ditangkap dengan menggunakan elektrostatis precipitator.

### **2.3 pH**

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. pH sendiri memiliki nilai yang berkisar antar 0-14. (Amsya et al., 2021).

### **2.4 Besi (Fe)**

Besi adalah salah satu elemen kimiawi yang dapat ditemui pada amper setiap tempat-tempat di bumi, pada semua lapisan geologis dan semua badan air. Besi yang ada di dalam air ditemukan dalam bentuk  $Fe^{2+}$  (ferro) atau  $Fe^{3+}$  (ferri). Pada air permukaan jarang ditemui kadar Fe lebih besar dari 1 mg/l, tetapi di dalam air tanah kadar Fe dapat jauh lebih tinggi.

### **2.5 Mangan (Mn)**

Mangan (Mn) adalah kation logam yang memiliki karakteristik kimia serupa dengan besi. Mangan dalam bentuk manganous ( $Mn^{2+}$ ) dan manganik ( $Mn^{4+}$ ). Di dalam tanah,  $Mn^{4+}$  berada dalam bentuk senyawa mangan dioksida. Sumber alami mangan adalah pyrolusite, rhodochrosite, manganite, hausmannite, biotite mica dan amphibole. Kadar mangan pada perairan alami sekitar 0,2 mg/L atau kurang.

### **2.6 Pertambangan Batubara**

Pertambangan menurut Undang-undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara (UU No.4/2009) adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang

meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengelolaan dan pemurnian, pengangkutan, dan penjualan serta pasca tambang (Devy, 2009).

## **2.7 Spektrometri Serapan Atom (SSA)**

Salah satu jenis Spektroskopi adalah Spektrometri Serapan Atom (SSA). Spektrometri Serapan Atom adalah metode analisis yang didasarkan pada proses penyerapan energi radiasi oleh atom-atom yang berada pada tingkat energi dasar.

## **2.8 Adsorpsi**

Adsorpsi merupakan peristiwa pengikatan molekul dalam fluida ke permukaan padatan biasa dikenal dengan penjeratan. Molekul akan terakumulasi pada batas muka padatan fluida. Berdasarkan kuat interaksinya, adsorpsi dibagi menjadi adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia.

## **2.9 Adsorben**

Adsorben merupakan zat yang berbentuk padat yang bisa menyerap partikel pada proses adsorpsi. Terdapat beberapa adsorben yang banyak digunakan salah satunya yaitu karbon aktif atau arang aktif. Zat yang diadsorpsi tergantung pada konsentrasi solut di sekitar solven, dengan berat dan luas permukaan tertentu dari adsorben

## **2.10 Analisis Regresi**

Terdapat perbedaan yang mendasar antara analisis korelasi dan regresi. Analisis korelasi digunakan untuk mencari arah dan kuat nya hubungan antara dua variabel atau lebih, baik hubungan yang bersifat simetris, kausal dan reciprocal, sedangkan analisis regresi digunakan untuk memprediksi seberapa jauh perubahan nilai variabel dependen, bila nilai variabel independen di manipulasi/dirubah-rubah atau dinaik-turunkan (Sugiyono, 2007).

## **2.11 Regresi Linier**

Model regresi linier sederhana adalah model probabilistik yang menyatakan hubungan linier antara dua variabel dimana salah satu variabel dianggap mempengaruhi variabel yang lain. Variabel yang mempengaruhi dinamakan variabel dependen dan variabel yang dipengaruhi dinamakan variabel dependen (Suyono, 2015).

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan pendekatan masalah berupa pengambilan bahan, baik berupa dasar teori maupun data-data yang diambil langsung di lapangan. Sehingga dilakukan beberapa tahapan yang meliputi tahap pra lapangan, tahap lapangan dan tahap pasca lapangan

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Sampel Air Asam Tambang (AAT)

Tabel 4.1 menggambarkan perbandingan antara hasil uji ini dengan standar baku mutu limbah pertambangan yang telah ditetapkan.

**Tabel 4.1** Baku Mutu air limbah pertambangan batubara

Parameter	Satuan	Sampel dari Lapangan	Permen LHK No.5 Tahun 2022
			Kadar Maksimal
pH	-	2,5	6-9
Besi	mg/L	20,42	7
Mangan	mg/L	9,58	4

Berdasarkan Tabel 4.1 limbah air asam tambang menunjukkan konsentrasi kadar logam yang signifikan, terutama logam besi (Fe) dan mangan (Mn), yang melebihi batas standar baku mutu limbah pertambangan yang telah ditetapkan. Dalam penelitian ini, dilakukan pengolahan limbah air asam tambang yang mengandung kadar besi (Fe) sebesar 20,42 mg/L dan mangan (Mn) sebesar 9,58 mg/L dengan nilai pH 2,5. Hasil pengujian awal menunjukkan bahwa konsentrasi logam tersebut tidak memenuhi persyaratan baku mutu air limbah yang diatur dalam Permen LHK No. 5 Tahun 2022. Untuk mengatasi hal ini, dalam skripsi ini dilakukan pengolahan limbah menggunakan metode adsorpsi dengan menggunakan *fly ash*. Metode adsorpsi dipilih karena kemampuannya dalam mengurangi konsentrasi logam berat dalam air, termasuk besi dan mangan, serta sebagai solusi yang dapat diterapkan secara efektif untuk memenuhi persyaratan baku mutu air limbah yang ditetapkan. Penggunaan *fly ash* sebagai adsorben dipilih karena ketersediaannya yang cukup melimpah dari proses pembakaran batubara, serta sifatnya yang mampu menyerap logam berat dari larutan. Dengan demikian, pengolahan limbah menggunakan metode adsorpsi dengan *fly ash* diharapkan dapat menjadi solusi efektif untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah air asam tambang.

## 4.2 Analisis Fly ash

Berdasarkan uji yang dilakukan pada sampel *fly ash* didapatkan konsentrasi logam besi (Fe) dan Mangan (Mn) yang tinggi. di mana kadar besi (Fe) yang didapatkan dari lapangan adalah 78,5 mg/L dan mangan (Mn) adalah 36,86 mg/L. hasil uji *fly ash* dari PLTU Embalut tenggarong diketahui bahwa jenis batu bara yang digunakan adalah lignit karena nilai fix carbon nya hanya 34,31 %

## 4.3 Pengaruh Massa Fly Ash Pada Kenaikan pH Air Asam Tambang (AAT)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh variasi massa *fly ash* terhadap kenaikan pH pada air asam tambang (AAT). Penelitian ini menggunakan sampel air asam tambang sebanyak 250 ml dengan pH awal 2,5 dan variasi massa *fly ash* yang digunakan adalah 10 gr, 15 gr, 20 gr, dan 25 gr. Proses pengolahan dilakukan dengan waktu kontak selama 30 menit dan kecepatan pengadukan 100 rpm.

Berdasarkan hasil penelitian, terbukti bahwa variasi massa *fly ash* memiliki pengaruh signifikan terhadap kenaikan nilai pH pada air asam tambang. Pengaruh massa *fly ash* terhadap pH pada air asam tambang dapat ditemukan dalam **Tabel 4.2** (Untuk perhitungan detail, dapat dilihat dalam lampiran A).

**Tabel 4.2 Perbandingan hasil nilai pH**

pH Awal	Massa <i>fly ash</i> (gr)	Volume AAT (ml)	pH akhir	% Kenaikan
2,5	10	250	4,11	64 %
	15		5,98	139 %
	20		6,42	157 %
	25		7,58	203 %

Berdasarkan hasil penelitian pada tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa massa *fly ash* mempengaruhi kenaikan pH pada air asam tambang. Penambahan 10 gr *fly ash* pH yang awalnya 2,5 mengalami perubahan menjadi 4,11 dengan persentase kenaikannya 64%, untuk penambahan 15 gr *fly ash* pH yang awalnya 2,5 mengalami perubahan menjadi 5,98 dengan persentase kenikannya 139%, untuk penambahan 20 gr *fly ash* pH yang awalnya 2,5 mengalami perubahan menjadi 6,42 dengan persentase kenaikannya 157%, dan untuk penambahan 25 gr *fly ash* pH yang awalnya 2,5 mengalami perubahan menjadi 7,58 dengan persentase kenaikannya 203 % Peningkatan tertinggi pada pH dari 2,5 menjadi 7,58 pada massa 25 gr. Hal ini dibuktikan dengan peningkatan pH yang telah memenuhi standar baku mutu pada massa *fly ash* 20 dan 25 gr dengan pH 6,42 dan 7,58. Jika mengacu pada Permen LHK No. 5 Tahun 2022 tentang baku mutu air limbah kegiatan penambangan batubara pH maksimum yang

diperbolehkan yaitu 6-9. Karena adanya kandungan silica pada adsorben (*fly ash*) ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kalsium ( $\text{CaO}$ ) dan magnesium yang berperan dalam proses adsorpsi dan peningkatan pH pada air asam tambang.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.573 <sup>a</sup>	.328	-.007	.62856

a. Predictors: (Constant), Massa Fly ash

#### Gambar 4.1 Hasil Regresi pH

Berdasarkan Gambar 4.1 menjelaskan hasil Regresi menggunakan spss pada pH air asam tambang di mana interval koefisien nya 0,328 yang artinya tingkat hubungannya rendah.

#### 4.4 Pengaruh Massa Fly Ash Pada Penurunan Logam Besi (Fe)

Tujuan dari analisis logam besi (Fe) adalah untuk mengevaluasi efek penggunaan *fly ash* dalam variasi massa 10, 15, 20, dan 25 gr terhadap kadar logam besi dalam sampel air asam tambang sebanyak 250 ml. konsentrasi awal logam besi (Fe) dalam air asam tambang adalah 20,42 mg/L. penelitian dilakukan dengan waktu kontak selama 30 menit dan kecepatan pengadukan 100 rpm.

Dari hasil penelitian massa *fly ash* berpengaruh terhadap penurunan Logam Besi (Fe) pada air asam tambang. Dapat dilihat dalam Table 4.3 (Untuk perhitungan detail, dapat dilihat dalam lampiran A).

**Table 4.3 Perbandingan Logam Besi (Fe)**

Konsentrasi awal logam besi Fe (mg/L)	Waktu Kontak (menit)	Massa <i>fly ash</i> (gr)	Volume AAT (ml)	Konsentrasi Akhir Fe Adsorpsi (mg/L)	% Penurunan
20,42	30	10	250	15,71	23,07%
20,42		15		10,32	49,46%
20,42		20		6,55	67,92%
20,42		25		1,27	93,78%

Berdasarkan Tabel 4.3 yang membandingkan hasil adsorpsi, dapat disimpulkan bahwa penambahan massa *fly ash* mempengaruhi penurunan kadar Logam Besi (Fe) dalam air asam tambang. konsentrasi awal Logam Besi (Fe) 20,42 mg/L menjadi 15,71 mg/L setelah penambahan massa 10 gr *fly ash*, dengan persentase penurunan sebesar (23,07 %). Ketika massa *fly ash* ditingkatkan menjadi 15 gr, konsentrasi logam besi (Fe) menurun menjadi 10,32 mg/L dengan persentase penurunan (49,46%). Pada penambahan 20 gr *fly ash*, konsentrasi

logam besi (Fe) turun menjadi 6,55 mg/L dengan persentase penurunan (67,92 %), dan pada penambahan massa 25 gr *fly ash* konsentrasi logam besi (Fe) mengalami penurunan signifikan menjadi 1,27 mg/L dengan persentase penurunan (93,78%).

#### 4.5 Pengaruh Massa Fly Ash Pada Penurunan Logam Mangan (Mn)

Tujuan dari analisis Mangan (Mn) adalah untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan *fly ash* dalam variasi massa 10, 15, 20, dan 25 gr terhadap kadar logam Mangan (Mn) dalam sampel air asam tambang sebanyak 250 ml. Konsentrasi awal logam Mangan (Mn) dalam air asam tambang adalah 9,58 mg/L. penelitian ini dilakukan dengan waktu kontak selama 30 menit dan kecepatan pengadukan 100 rpm.

Dari hasil penelitian, ditemukan bahwa penambahan massa *fly ash* berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar logam mangan (Mn) dalam air asam tambang. Pengaruh massa *fly ash* terhadap logam mangan (Mn) pada air asam tambang dapat ditemukan dalam Tabel 4.4 (Untuk perhitungan detail, dapat dilihat dalam lampiran A).

Penelitian ini penting untuk memberikan pemahaman lebih dalam tentang potensi *fly ash* sebagai adsorben dalam mengurangi pencemaran logam mangan (Mn) dalam lingkungan air asam tambang.

**Tabel 4.4 Perbandingan Mangan (Mn)**

Konsentrasi Awal logam Mangan (mg/L)	Waktu Kontak (menit)	Volume Air asam tambang (ml)	Massa <i>fly ash</i> (gr)	Konsentrasi Akhir logam Mangan (mg/L)	% Penurunan
9,58	30	250	10	8,07	15,76%
9,58			15	6,12	36,12%
9,58			20	4,33	54,80%
9,58			25	2,35	75,47%

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat disimpulkan bahwa massa *fly ash* berpengaruh terhadap penurunan kadar logam Mn pada air asam tambang. Hasil analisis konsentrasi Mangan (Mn) dengan waktu kontak 30 menit, konsentrasi awal Mangan (Mn) 9,58 mg/L menjadi 8,07 mg/L setelah ditambahkan massa 10 gr *fly ash* dengan persentase penurunan 15,76 %, konsentrasi awal Mangan (Mn) 9,58 mg/L menjadi 6,12 mg/L setelah ditambahkan massa 15 gr *fly ash* dengan persentase penurunan 36,12 %, konsentrasi awal Mangan (Mn) 9,58 mg/L menjadi 4,33 mg/L setelah ditambahkan massa 20 gr *fly ash* dengan persentase penurunan 54,80 %,

konsentrasi awal Mangan (Mn) 9,58 mg/L menjadi 2,35 mg/L setelah ditambahkan berat 25 gr *fly ash* dengan persentase penurunan 75,47 %.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai optimum pH yang didapatkan pada air asam tambang yaitu pada masa 10 gr *Fly ash* dan 15 gr *Fly ash*.
2. Nilai Optimum Kandungan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) yang didapatkan dengan waktu kontak 30 menit yaitu pada massa 10 - 15 gr *Fly ash* pada kandungan Besi (Fe) sedangkan 20 - 25 gr *Fly ash* pada kandungan Mangan (Mn).
3. Persentase penurunan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) paling baik yaitu pada masa 25 gr dengan 93,78 % untuk Besi (Fe) dan 75,47 % untuk Mangan (Mn).

### 5.2 Saran

Adapun Saran dari penelitian kali ini adalah:

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan *Fly ash* jenis lain.
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi waktu yang lebih lama lagi pada proses adsorpsi agar dapat mengetahui waktu optimum dalam proses tersebut.
3. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan sampel air asam tambang lebih dari satu tempat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amsya, R. M., Zakri, R. S., & Fiqri, M. R. (2021). Analisis Pengaruh Penggunaan Fly Ash Dan Kapur Tohor Pada Penetralan Ph Air Asam Tambang Di PT. Mandiangin Bara Prima. *Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri*, 21(1), 109. <https://doi.org/10.36275/stsp.v21i1.368>
- Devy, S. D. (2009). *Hidrogeologi Pertambangan*. Samarinda: Mulawarman University Press.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya Dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Herlina, A., Handayani, H. E., & Iskandar, H. (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, Effect Of Fly Ash And Tohor Lime On Acid Mine Water Neutralization Into Acid Mine. *Jurnal Ilmu Teknik Sriwijaya*, 0–7.
- Kurniawan, R., & Yudiarto, B. (2016). *Analisis Regresi*. Jakarta: Penerbit Kencana.

- Nasir, M. (2019). Spektrometri Serapan Atom. Syiah Kuala University Press.
- Rusdianto, T. A., & Fitriyah. (2022). Efisiensi Adsorpsi Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera* L) dalam menurunkan kadar BOD, COD, TSS Dan pH pada limbah Cair Detergen Rumah Tangga. *JURNALIS*, 5(1).
- Samosir, G., & Har. (2021). Pemanfaatan Fly Ash Bottom Ash Dan Tawas Untuk Mentralkan Air Asam Tambang. *Jurnal Bina Tambang*, 6(4).
- Setiawati, M. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Palembang.
- Sugiyono. (2007). Statistika Untuk Penelitian. Bandung: Alfabeta.
- Sulistiyowati, W., & Astuti, C. C. (2017). Statistika Dasar Konsep dan Aplikasinya. Universitas Sidoarjo: Umsida Press.
- Suyono. (2015). Analisis Regresi Untuk Penelitian. Yogyakarta: Deepublish.
- Syaefudin, M. A., Triantoro, A., & Riswan, R. (2020). Analisis Pemanfaatan Fly Ash Dan Bottom Ash sebagai Material Alternatif Naf Yang Digunakan Dalam Upaya Pencegahan Pembentukan Air Asam Tambang Pada Pt Jorong Barutama Greston. *Jurnal GEOSAPTA*, 6(1), 39. <https://doi.org/10.20527/jg.v6i1.7873>
- Widayatno, T., Yuliawati, T., & Susilo, A. A. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dari Limbah Cair Dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1).
- Yustina, H., Maya, A., & Syamsudin, A. B. (2015). Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch. *Jurnal Konversi*, 9(1).