



ANALISIS PENGARUH PENCAMPURAN *FLY ASH* TERHADAP SIFAT FISIK DAN GEOKIMIA POTENSI PEMBENTUKAN ASAM PADA BATUAN *POTENTIAL ACID FORMING* MELALUI UJI KINETIK DENGAN METODE *HUMIDITY CELL TEST*

Muhammad Ilham Kadar^{1*}, Ika Sartika Ambarsari², Irfan Saputra³, Mohammad Suriyaidulman⁴

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

Info Artikel

Diajukan: 24-12-2025

Diterima: 30-12-2025

Diterbitkan: 31-01-2026

Keywords:

Blending; Fly Ash;

Acid Mine Drainage;

Humidity Cell Test.

Kata Kunci:

Pencampuran; Fly Ash;

Air Asam Tambang;

Humidity Cell Test.



Lisensi: cc-by-sa

ABSTRACT

Acid Mine Drainage (AMD) is a critical environmental issue that frequently arises in mining activities involving rocks containing sulfide minerals. One widely applied approach to preventing AMD is the mixing method, which combines Potential Acid Forming (PAF) materials with Non-Acid Forming (NAF) materials that function to neutralize potential acidity. Fly ash is generally rich in silicate minerals and alkaline oxides that can increase neutralization capacity when mixed with PAF rocks. The research stages include physical and geochemical characterization of the material, and kinetic tests to simulate long-term behavior. Next, leachate formation experiments were conducted using the Humidity Cell Test (HCT) method with variations in PAF grain size (fine and coarse) and fly ash addition proportions of 5%, 10%, and 20%. The test results showed that variations in PAF grain size did not have a significant effect on the leachate quality parameters formed during the observation period. Conversely, increasing the percentage of fly ash consistently played a significant role in increasing the alkalinity capacity of the mixture and improving the system's ability to suppress AMD formation. The PAF mixture with 20% fly ash demonstrated the most effective performance during 10 weeks of testing, characterized by stable leachate pH at neutral conditions and decreased concentrations of sulfide mineral oxidation indicator elements. These findings indicate that fly ash has strong potential as an alternative ameliorant material in PAF overburden management, especially in mine sites with limited natural NAF.

ABSTRAK

Air Asam Tambang (AAT) merupakan isu lingkungan kritis yang sering muncul pada kegiatan pertambangan yang melibatkan batuan dengan kandungan mineral sulfida. Salah satu pendekatan pencegahan AAT yang banyak diterapkan adalah metode pencampuran, yaitu mengombinasikan material *Potential Acid Forming* (PAF) dengan material *Non Acid Forming* (NAF) yang berfungsi menetralkan potensi keasaman. *Fly ash* umumnya kaya akan mineral-mineral silikat dan oksida alkalin yang mampu meningkatkan kapasitas penetralan bila dicampurkan dengan batuan PAF. Tahapan penelitian mencakup karakterisasi fisik dan geokimia material, dan uji kinetik untuk mensimulasikan perilaku jangka panjang. Selanjutnya, percobaan pembentukan air lindian dilakukan melalui metode *Humidity Cell Test* (HCT) dengan variasi ukuran butir PAF (halus dan kasar) serta proporsi penambahan *fly ash* sebesar 5%, 10%, dan 20%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi ukuran butir PAF tidak memberikan pengaruh berarti terhadap parameter kualitas air lindian yang terbentuk selama periode pengamatan. Sebaliknya, peningkatan persentase *fly ash* secara konsisten berperan signifikan dalam menambah kapasitas alkalinitas campuran dan meningkatkan kemampuan sistem dalam meredam pembentukan AAT. Campuran PAF dengan 20% *fly ash* menunjukkan kinerja paling efektif selama 10 minggu pengujian, ditandai dengan pH air lindian yang stabil

pada kondisi netral serta penurunan konsentrasi unsur-unsur indikator oksidasi mineral sulfida. Temuan ini mengindikasikan bahwa *fly ash* berpotensi kuat menjadi material amelioran alternatif pada pengelolaan batuan penutup PAF, terutama pada lokasi tambang dengan keterbatasan NAF alami.

Corresponding Author:

Muhammad Ilham Kadar

Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia.

Muhammadilham_kadar@yahoo.co.id

PENDAHULUAN

Air Asam Tambang (AAT) merupakan salah satu bentuk degradasi lingkungan yang paling umum terjadi pada wilayah pertambangan yang melibatkan batuan mengandung mineral sulfida. Terbentuknya AAT disebabkan oleh reaksi oksidasi mineral sulfida yang kontak dengan air dan oksigen, sehingga menghasilkan air berkadar keasaman tinggi (Gautama, 2014). Upaya pencegahannya dapat dilakukan melalui pendekatan fisik maupun kimiawi, termasuk pengelolaan material timbunan dengan memisahkan material *Potential Acid Forming* (PAF) dan *Non Acid Forming* (NAF), serta penerapan metode enkapsulasi, pelapisan, atau pencampuran. Pada metode pencampuran, batuan PAF diolah bersama material penetral untuk mengurangi potensi pembentukan asam.

Kendala yang sering dihadapi dalam implementasi metode pencampuran adalah terbatasnya ketersediaan batuan NAF yang memiliki kapasitas netralisasi tinggi. Hal ini mendorong perlunya pemanfaatan material alternatif yang mudah diperoleh di sekitar area tambang. *Fly ash*, limbah pembakaran batubara dari PLTU mulut tambang PT Tanjung Power Indonesia, menjadi salah satu kandidat yang menjanjikan. Selain memiliki ukuran partikel sangat halus dan sifat *pozzolan*, *fly ash* mengandung komponen SiO_2 dan CaO yang berperan penting dalam reaksi netralisasi. Kandungan CaO dan sifat alkalinitasnya memberikan potensi besar dalam menurunkan keasaman, sementara sifat sementasinya membantu mengurangi infiltrasi air ke dalam timbunan batuan PAF.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa *fly ash* dapat digunakan dalam metode pelapisan maupun pencampuran pada material *overburden* untuk meningkatkan kapasitas penetralan dan menurunkan risiko pembentukan AAT (Wiedhartono & Fajrin, 2008). Melanjutkan temuan tersebut, penelitian ini melakukan simulasi pencampuran *fly ash* dengan berbagai variasi menggunakan metode *Humidity Cell Test* (HCT). Pengujian mencakup evaluasi karakteristik fisik melalui uji ayak, hidrometer, indeks sifat tanah, dan batas *Atterberg*, serta analisis geokimia melalui uji statik (penentuan NAPP dan NPR), uji kinetik, analisis mineralogi, serta kandungan unsur. Variasi ukuran butir PAF (kasar dan halus) serta rasio penambahan *fly ash* dirancang untuk melihat perubahan kualitas air lindian dan kemampuan campuran dalam menekan pembentukan AAT. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai efektivitas *fly ash* sebagai material amelioran alternatif pada pengelolaan batuan PAF.

METODE

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi karakteristik air lindian yang dihasilkan dari proses pembentukan Air Asam Tambang (AAT) melalui pengujian kinetik skala laboratorium menggunakan metode *Humidity Cell Test* (HCT). Fokus utama penelitian adalah menilai pengaruh sifat fisik dan karakteristik geokimia campuran material *Potential Acid Forming* (PAF) dan *fly ash* terhadap mekanisme pembentukan maupun mitigasi AAT. Sampel PAF berasal dari batuan penutup (*overburden*) PT Adaro Indonesia, sementara *fly ash* diperoleh dari PLTU mulut tambang PT Tanjung Power Indonesia.

Tahap awal penelitian dilakukan melalui uji statik untuk mengidentifikasi potensi pembentukan asam tanpa mempertimbangkan dinamika reaksi jangka panjang. Pengujian meliputi pH pasta, *Acid*

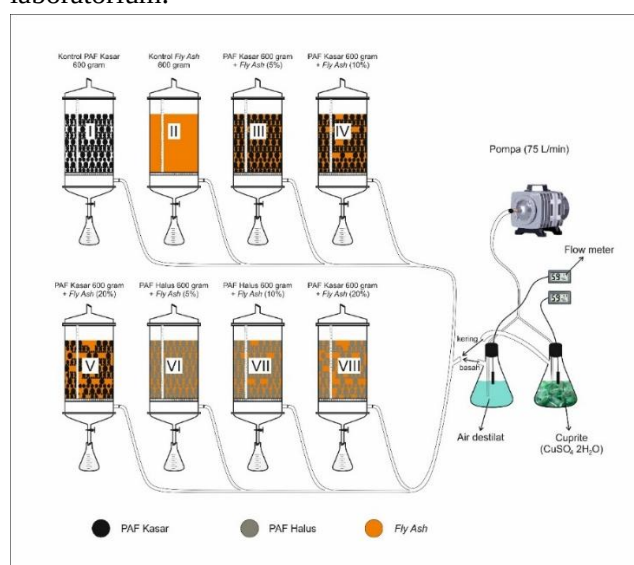
Neutralizing Capacity (ANC), *Net Acid Generation* (NAG), serta kadar sulfur total (S-total), sehingga diperoleh gambaran dasar mengenai kecenderungan batuan menghasilkan asam sesuai standar penilaian AAT.

Tahap berikutnya adalah pengujian kinetik melalui metode HCT, yang mensimulasikan proses pelapukan dan pembentukan air asam secara berulang melalui siklus basah–kering. Pengujian ini memungkinkan observasi detail mengenai perubahan sifat material dari waktu ke waktu serta perilaku pelepasan ion dan unsur selama proses pelindian. Karakterisasi fisik dilakukan melalui analisis ukuran butir menggunakan metode ayakan dan hidrometer, sedangkan karakterisasi mineralogi dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengidentifikasi komposisi mineral penyusun material uji. Informasi mineralogi ini sangat penting karena berpengaruh terhadap reaktivitas sulfida dan kapasitas netralisasi campuran.

Fly ash memiliki peran penting sebagai agen penetral dalam campuran, terutama karena kandungan CaO yang mencapai 10–20%, yang mampu meningkatkan alkalinitas secara cepat. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa *fly ash* dapat menaikkan pH larutan asam dari 2,5 menjadi sekitar 6,5 dalam kurun waktu 30 menit (Pradhan & Desmukh, 2008), sehingga material ini potensial digunakan sebagai bahan pencampur maupun lapisan penutup pada sistem pengelolaan batuan PAF.

Analisis kualitas air lindian selama pengujian meliputi parameter fisik (pH, ORP, TDS, EC, suhu, dan volume air lindian) serta parameter kimia untuk mengidentifikasi dinamika pelepasan unsur. Keseluruhan data ini memberikan pemahaman komprehensif mengenai perilaku geokimia campuran PAF–*fly ash* selama proses pelindian.

Metode *Humidity Cell Test* diterapkan dengan siklus 3 hari kondisi basah, 3 hari kondisi kering, dan 1 hari *water flushing*. Selama siklus basah dan kering, sampel dialiri udara dari bagian dasar kolom (*counter current flow*), sedangkan pada tahap *water flushing* sampel diberi air destilat dengan rasio *water to solid* 1:2. Sampel ditempatkan dalam *humidity cell* berdiameter 90 mm dan tinggi 55 mm, sehingga memungkinkan simulasi terkontrol terhadap perilaku pembentukan AAT dalam kondisi laboratorium.



Gambar 1. Komposisi pencampuran material PAF dan *fly ash*

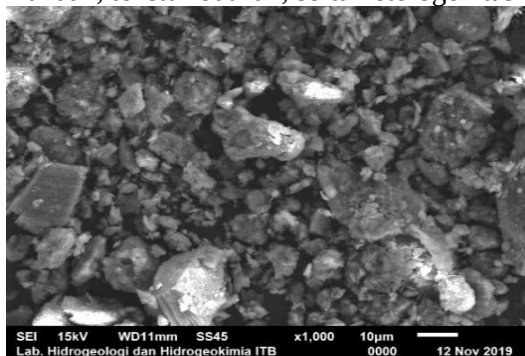
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Sifat Fisik Material

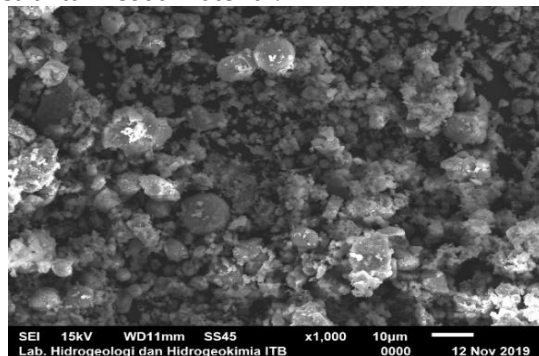
Morfologi butir

Karakteristik morfologi butir pada material PAF dan *fly ash* diamati menggunakan *Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS). Analisis dilakukan pada tingkat

pembesaran 1.000× dengan skala 10 μm untuk memperoleh gambaran detail mengenai bentuk permukaan, tekstur butiran, serta heterogenitas mikrostruktur kedua material.



Gambar 2. Bentuk butir PAF



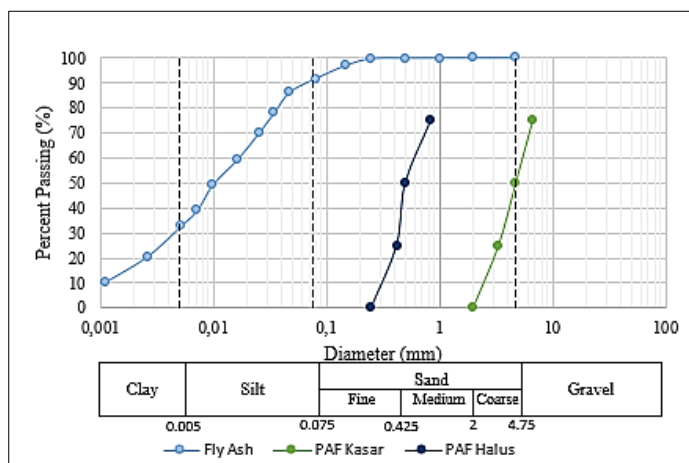
Gambar 3. Bentuk Butir Fly Ash

Sifat Fisik Sampel

Uji sifat fisik material PAF dan fly ash dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Institut Teknologi Bandung untuk memperoleh distribusi ukuran butir secara lengkap. Pengujian ini memberikan informasi mengenai proporsi fraksi kasar dan halus yang penting dalam memahami perilaku material terhadap proses pelindian dan interaksi geokimia pada pengujian AAT.

Tabel 1. Hasil analisis distribusi ukuran

Sampel	Distribusi Ukuran Partikel (%)			
	Gravel	Sand	Silt	Clay
Fly Ash	0.00	8.35	59.49	32.16



Gambar 4. Distribusi ukuran butir PAF kasar, PAF halus dan Fly Ash

Hasil pengujian Atterberg Limit dan *shrinkage limit* pada sampel batuan penutup (PAF) ditampilkan pada Tabel 2, yang memberikan gambaran mengenai konsistensi, plastisitas, dan perubahan volume sampel pada kondisi kadar air tertentu.

Tabel 2. Hasil Pengujian Atterberg Limit Dan Shrinkage Limit Sampel Batuan Penutup (PAF)

Parameter atterberg limit	Nilai (%)
Liquid Limit (batas cair) = W_L	46.45
Plastis Limit (batas plastis) = W_P	26.09
Plasticity Index (indeks plastis)	20.37
Shrinkage limit	21.96

Nilai *index properties* sampel batuan dianalisis di Laboratorium Mekanika Tanah. Hasil pengujian *specific gravity* dan porositas pada sampel batuan penutup (PAF) disajikan pada Tabel 3 sebagai dasar untuk memahami karakteristik fisik material.

Tabel 3. *Index Properties* Sampel Batuan

<i>Index properties</i>	PAF (%)	<i>Fly Ash (%)</i>
<i>Spesific gravity (SG)</i>	2.60	3.13
<i>Porositas (n) PAF kasar</i>	19.1	-
<i>Porositas (n) PAF halus</i>	24	-

Hasil Uji Mineralogi dan Unsur Sampel

Uji XRD

Uji *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi jenis mineral dalam sampel melalui pola difraksi sinar-X, sehingga memberikan informasi mineralogi yang penting dalam memahami sifat dan reaktivitas material.

Tabel 4. Hasil Uji XRD sampel PAF dan *Fly Ash*

Kode Sampel	Kandungan Mineral
Batuan Penutup (PAF)	<i>Quartz</i> (SiO_2), <i>Jarosite</i> ($\text{KFe}^{3+}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$), <i>kaolinite group mineral</i> (<i>Halloysite</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), <i>Dickite</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)), dan pirit (FeS_2)
<i>Fly Ash</i> (FA)	<i>Quartz</i> (SiO_2), <i>Periclase</i> (MgO), <i>Monticellite</i> (CaMgSiO_4), <i>Anhydrite</i> (CaSO_4), <i>Pyroxene</i> ($\text{XY}(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}$), dan <i>Sodalite</i> ($\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})\text{Cl}_2$)

Uji XRF

Uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) digunakan untuk menentukan kandungan unsur dalam sampel secara cepat dan akurat, sehingga memberikan gambaran komposisi kimia yang mendukung analisis geokimia material.

Tabel 5. Hasil Uji XRF sampel PAF dan *Fly Ash*

<i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>		
Komponen	Nilai	
Satuan	PAF (%)	<i>Fly Ash (%)</i>
Al_2O_3	24.0	10.80
SiO_2	56.0	32.9
Fe_2O_3	8.23	17.9
SO_3	6.51	5.01
K_2O	2.88	1.11
CaO	0.427	24.0
TiO_2	1.48	0.825
MnO	0.0474	0.246
MgO	0.330	6.24
SrO	0.0212	0.258
Rb_2O_3	0.0250	-
ZrO_2	0.0443	-
Na_2O	-	0.0771
P_2O_5	-	0.205
CuO	-	0.0304
ZnO	-	0.0542
BaO	-	0.418

Hasil Uji Statik

Uji statik merupakan pengujian geokimia awal yang bertujuan menilai potensi suatu material dalam membentuk air asam tambang (AAT), sehingga memberikan indikasi awal mengenai kecenderungan menghasilkan atau menetralkan asam.

Tabel 6. Hasil Uji Statik PAF Dan *Fly Ash*

Kode	pH Pasta	Net Acid Generation			Acid Base Accounting (ABA)				Klasifikasi Sampel
		NAG pH	NAG		Total Sulfur (%)	MPA *)	ANC *)	NAPP *)	
			pH 4.50*)	pH 7.00*)					
PAF	2.54	2.26	86.24	128.28	1.35	41.34	0.00	41.34	PAF

<i>Fly Ash</i>	11.68	11.50	0.00	0.00	1.45	44.41	580.04	- 535.63	NAF
----------------	-------	-------	------	------	------	-------	--------	-------------	-----

Tabel 7. Hasil Uji Statik PAF Dan *Fly Ash*

Kode	Net Acid Generation			NAPP (*)	Klasifikasi Sampel
	NAG	NAG			
	pH	pH 4.50*)	pH 7.00*)		
PAF + FA (5%)	2.58	2.24	4.54	5%	PAF
PAF + FA (10%)	3.90	0.86	3.71	10%	UC
PAF + FA (20%)	6.73	-	0.12	20 %	NAF

Keterangan: *) = dalam kg H₂SO₄/ton

NAG = *Net Acid Generating*

MPA = *Maximum Potential Acidity*

ANC = *Acid Neutralizing Capacity*

NAPP = *Net Acid Producing Potential*

Hasil Uji Kinetik

Uji kinetik merupakan pengujian geokimia jangka panjang yang mensimulasikan proses pelapukan dan pembentukan AAT secara bertahap, sehingga memperlihatkan dinamika pelepasan unsur dan perubahan kualitas air lindian dari waktu ke waktu.

Humidity Cell Test Test (HCT)

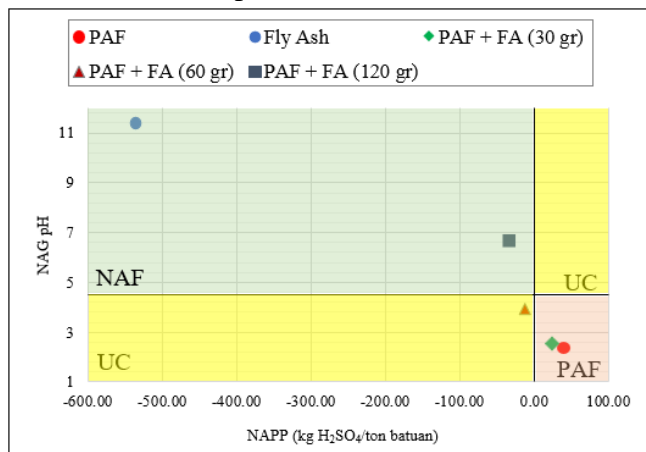
Tabel 8. Pengukuran pH uji kinetik HCT

No.	Jenis Sample	Pengukuran pH									
		7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
		15-Oct	22-Oct	29-Oct	5-Nov	12-Nov	19-Nov	26-Nov	3-Dec	10-Dec	17-Dec
1	K. PK	2,28	2,26	2,07	1,83	2,34	2,31	2,12	2,4	1,94	2,08
2	K. FA (HCT)	11,69	10,85	11,38	11,4	11,20	11,26	10,85	10,31	10,68	11,22
3	PK + FA (5 %)	8,09	3,58	3,48	3,84	4,03	4,08	3,86	3,67	3,58	3,98
4	PK + FA (10 %)	8,56	5,84	6	5,84	5,33	5,9	4,97	4,68	4,64	5,05
5	PK + FA (20 %) HCT	9,56	7,39	7,74	7,4	7,17	7,57	7,45	7,50	7,59	7,54
6	PH + FA (5%)		4,05	4,67	4,43	4	3,58	3,49	3,41	3,51	3,72
7	PH + FA (10%)		4,52	4,79	4,35	4,32	4,03	3,97	3,85	3,85	4,12
8	PH + FA (20%) HCT		7,42	7,93	7,71	8,44	8,29	8,33	8,19	8,23	8,41

Tabel 9. Pengukuran TDS uji kinetik HCT

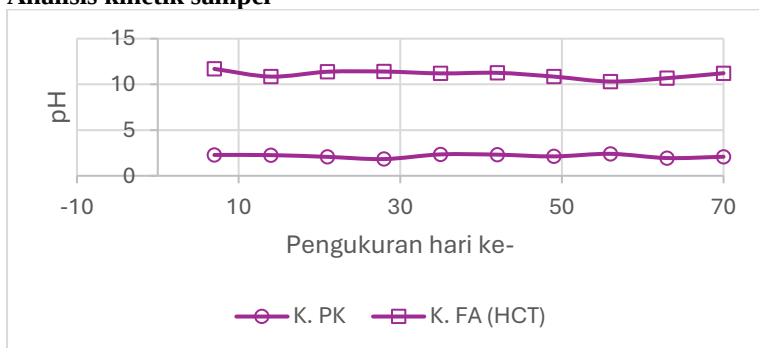
No.	Jenis Sample	Pengukuran <i>Total Dissolved Solid</i> (ppm)									
		7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
		15-Oct	22-Oct	29-Oct	5-Nov	12-Nov	19-Nov	26-Nov	3-Dec	10-Dec	17-Dec
1	K. PK	6310	8290	14300	24100	10200	8420	10900	9700	11500	11500
2	K. FA (HCT)	4220	7490	5850	3450	1950	2090	1610	1320	1730	1760
3	PK + FA (5 %)	3960	10200	7820	10400	7780	6380	5890	5080	4660	4290
4	PK + FA (10 %)	2940	10100	8190	9330	6480	5560	5160	4580	4230	3920
5	PK + FA (20 %) HCT		10300	7610	7760	5890	5270	5570	5390	4920	3200
6	PH + FA (5%)		14100	10600	10700	7700	6700	7400	6200	6020	5800
7	PH + FA (10%)		18400	10200	9040	6630	5610	4780	4490	4240	3730
8	PH + FA (20%) HCT		17200	7230	6620	5550	4940	4950	4750	4680	4570

Analisis Statik Sampel

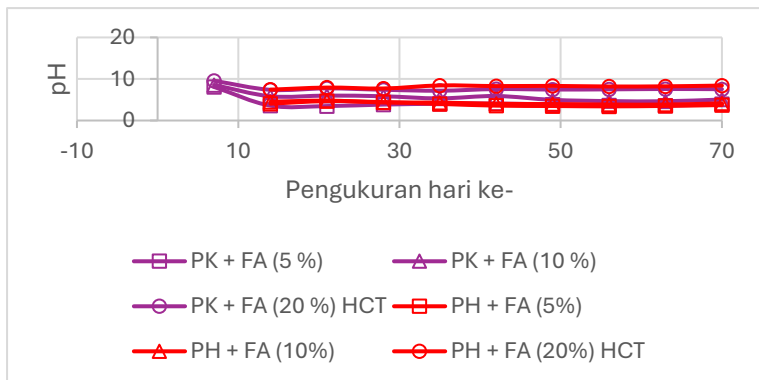


Gambar 5. Grafik hubungan NAPP vs NAG pH sampel PAF dan *fly ash* (AMIRA P387A,2002)

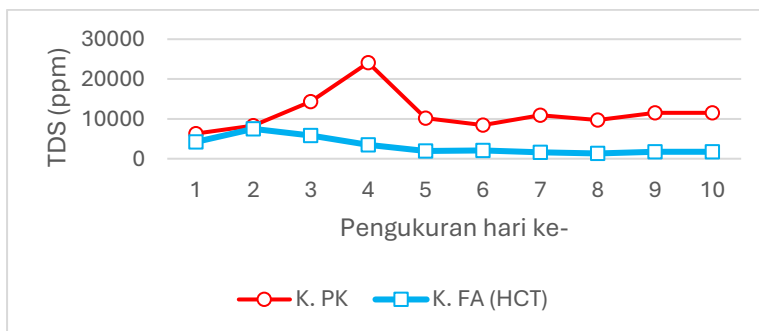
Analisis kinetik sampel



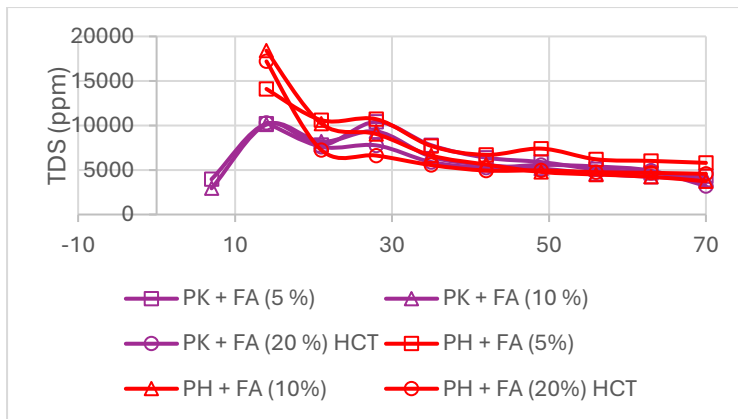
Gambar 6. Grafik pH kolom kontrol HCT.



Gambar 7. Grafik pH PK-FA dan PH-FA HCT.



Gambar 8. Grafik TDS kolom kontrol HCT.



Gambar 9. Grafik TDS PK-FA dan PH-FA HCT

Pengaruh ukuran butir terhadap kualitas air lindian

HCT cenderung menghasilkan kondisi yang kurang representatif terhadap kondisi lapangan karena siklus basah–kering yang dilakukan bersifat terkontrol dan tidak merefleksikan aliran air yang kontinu sebagaimana terjadi di timbunan batuan sebenarnya. Selain itu, volume air yang digunakan pada HCT relatif kecil dan tidak mengikuti pola infiltrasi alami, sehingga hasil pelindiannya dapat menurunkan sensitivitas terhadap variasi ukuran butir dan permeabilitas sampel. HCT juga memiliki tingkat aerasi yang lebih tinggi akibat aliran udara berkelanjutan, sehingga meningkatkan reaksi oksidasi lebih cepat daripada di lapangan, yang dapat menyebabkan estimasi potensi pembentukan AAT menjadi lebih konservatif atau berlebihan.

Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Kualitas Air Lindian

Penambahan *fly ash* terbukti efektif dalam menurunkan nilai NAPP, menunjukkan bahwa kapasitas penetral dalam campuran semakin dominan dibanding potensi pembentukan asam. Hasil uji kinetik HCT memperlihatkan bahwa semakin tinggi proporsi *fly ash*, pH air lindian cenderung meningkat sementara nilai TDS menurun. Partikel *fly ash* yang sangat halus mampu menutup ruang pori antarbutir PAF, sehingga mengurangi jalur difusi oksigen dan membatasi kontak langsung antara mineral sulfida, air, dan udara. Pengurangan ruang reaksi ini secara signifikan menekan laju oksidasi pirit, sekaligus memperbesar kemampuan campuran dalam menetralkan keasaman. Secara keseluruhan, peningkatan rasio *fly ash* memberikan dampak positif terhadap kualitas air lindian dan menjadi indikator kuat bahwa *fly ash* berfungsi efektif sebagai bahan amelioran dalam mitigasi pembentukan AAT.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh *penambahan fly ash* terhadap batuan *Potential Acid Forming* menunjukkan bahwa:

- Penambahan *fly ash* ke dalam campuran material PAF terbukti meningkatkan kapasitas penetralan asam secara signifikan. Hal ini terlihat dari penurunan nilai NAPP serta meningkatnya pH air lindian pada berbagai komposisi campuran. Butiran halus *fly ash* mampu mengisi celah dan pori material PAF, sehingga membatasi kontak oksigen dan air dengan mineral sulfida. Kondisi tersebut menghambat laju oksidasi *pirit*, menurunkan produksi asam, dan pada saat yang sama meningkatkan kontribusi alkalinitas dari *fly ash*.
- Hasil uji kinetik menggunakan metode HCT menunjukkan bahwa peningkatan proporsi *fly ash* menghasilkan kualitas air lindian yang semakin stabil dan tidak bersifat asam. Pada rasio *fly ash* 20%, baik pada pencampuran dengan PAF kasar maupun halus, pH air lindian berada pada kisaran 6,5 hingga 8,7 selama 10 minggu pengujian. Rentang pH tersebut mengindikasikan bahwa proses pembentukan air asam tambang dapat ditekan secara efektif. Dengan demikian, *fly ash* terbukti berperan sebagai material amelioran yang dapat meningkatkan kondisi geokimia campuran dan menjadi solusi potensial dalam pengelolaan material PAF di lapangan.

REFERENSI

- Akcil, A., & Koldas, S. (2006). Acid Mine Drainage (AMD) : Cause, Treatment and Case Studies. *Journal of Cleaner Production*, 1139 - 1145.
- AMIRA, I. (2002). ARD Test Handbook. New Zealand: Ian Wark Research Institute.
- Budi, G. S. (2011). Pengujian Tanah di Laboratorium, Penjelasan dan Panduan. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu.
- Chang, R. (2007): *Chemistry*, Williams College, Mc Graw Hill, New York, 10.
- Chang, R. (2008): *General Chemistry, The Essential Concepts Fifth Edition*. The McGraw-Hill Companies. New York.
- Das, B. M. (2010). Principles of Geotechnical Engineering (7th ed.). USA: Cengage Learning.
- Dewandari, Y. K. W. (2019): *Studi Karakterisasi Material Campuran Batuan Potential Acid Forming dan Abu Terbang Dalam Pengelolaan Air Asam Tambang Pada Skala Laboratorium*. Tugas Akhir. ITB. Bandung.
- Firman. (2017): *Kajian Pencampuran Abu Batubara Limbah PLTU Dengan Material Pembentuk Asam Untuk Pencegahan Air Asam Tambang*. Tesis. ITB. Bandung.
- Gautama, R. S. (2014). Pembentukan, Pengendalian dan Pengelolaan Air Asam Tambang. Bandung, Indonesia: Penerbit ITB.
- Gautama, R. S., Kusuma, G. J., Lestari, I., & Anggana, R. P. (2010). Weathering Behavior of Overburden-Coal Ash Blending in Relation to Overburden Management for Acid Mine Drainage Prevention in Coal Surface Mine. *Prosiding International Mine Water Association 2010* (pp. 417-420). Sidney: Mine Water and Innovative Thinking.
- Gautama, R. S. (2015): *Materi Kuliah Air Asam Tambang*, Program Studi Rekayasa Pertambangan. Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Kusuma, G. J. (2012). Study on the Acid Mine Drainage Generation at Coal Mine Overburden Dumps in Indonesia and Its Control System, Using Ash Fly. Japan: Kyushu University.
- Kusuma, G. J., Shimada, H., Nugraha, C., Akihiro, H., Takashi, S., Kikuo, M., . . . Sulistianto, B. (2012). Study on Co-Placement of Coal Combustion Ash Coal Waste Rock For Minimizing Acid Mine Drainage Generation : a Preliminary Result of Field Column Test Experiment. Japan: Kyushu University.
- Lestari, I. (2010): *Studi Perilaku Pelapukan dan Kinetika Lindian Batuan Akibat Penambahan Abu Batubara untuk Pencegahan Pembentukan Air Asam Tambang*. Tesis. ITB. Bandung.
- Lottermoser, B. G. (2010). Mine Wastes, Characterization, Treatment and Environmental Impacts (Third ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Naik, T. R., & Singh, S. S. (1993). Fly Ash Generation and Utilization An Overview. Milwaukee: Departement of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science University of Wisconsin.
- Petrik, L. F., White, R. A., Klink, M. J., Somerset, V. S., Burgers, C. L., dan Fey, M. W. (2003): *Utilization of South African Fly Ash to Treat Acid Coal Mine Drainage, and Production of High Quality Zeolites from the Residual Solids*, *International Ash Utilization Symposium*, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, 1-16.
- Pradhan, A., & Desmukh, J. P. (2008, July-September). Utilization of Fly Ash for Treatment of Acid Mine Water. *Journal of Environmental Research and Development*, 3 No. 1, 1-6.
- Prasetyo, G., dan Iriani, O. (2012): *Mitigasi Air Asam Batuan (AAB) dengan Metode Pencampuran Batu Gamping di Timbunan Lower Wanagon*. Prosiding Seminar Air Asam Tambang di Indonesia ke-4, Bandung, Indonesia.
- Sondakh, G. T. (2017). Studi Pemanfaatan Abu Batubara Sebagai Material Pelapis (Cover Layering) Untuk Mencegah Terbentuknya AAT di Wilayah Perambangan Batubara PT. Adaro Indonesia. Bandung, Indonesia: Institut Teknologi Bandung.
- Suryaningtyas, D.T. (2006): *Kajian Pelindian Ion Logam pada Timbunan Batuan Penutup di Tambang Terbuka Sebagai Metode Alternatif Reklamasi Lahan, Studi Kasus: Pertambangan Batubara*, Disertasi. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Wiedhartono, A., & Fajrin, A. M. (2008). Pengembangan Pengolahan Pasir Air Asam Tambang dan Potensi Pemanfaatan Fly Ash Batubara Dalam Kontrol Pembentukan Air Asam Tambang di PT. Berau Coal. *Seminar Air Asam Tambang dan Reklamasi Lahan Bekas Tambang di Indonesia* (pp. 1-8). Bandung: ITB.

- Williams, C. D., Duke, & Catherine, V. A. (2008). Chemistry for Enviromental and Earth Sciences. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Yeheyis, M. B., Shang, J. Q., & Yanful, E. K. (2009). Long Term Evaluation of Coal Fly Ash amd Mine Tailing Co-Placement : A Site-Specific Study. *Journal of Environmental Management*(91), 237-244.