

Geochemical Characteristics of Rocks in Coal Mines (Case Study of Coal Mining PT. ABC)

Karakteristik Geokimia Batuan Pada Tambang Batubara (Studi Kasus Penambangan Batubara PT. ABC)

Gindang Rain Pratama¹, Diana Irmawati Pradan¹, PHarsalim Aimunandar Jayaputra¹,
Gregorius Aryoko Gautama⁴, Muhammad Tri Aditya¹, Armin Naibaho¹

¹Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

*surel: gindangrain@polinema.ac.id

ABSTRACT

At the end of mining, an open pit coal mine will form a mine sump, also known as a "pit lake". At PT ABC, the pit wall rock lithology consists of 30% potentially acidic rock and 70% non-acidic rock, with low pH sump water quality. The static test is intended to calculate the balance of acid-forming and acid-consuming components. The static test does not consider the rate of acid formation and neutralization. The objective is to determine the potential for acid formation to occur in the rock. The kinetic test aims to understand the kinetics of acid formation reactions in samples through a simulation of oxidation reactions in rocks. This test can predict long-term weathering characteristics as a function of time. Of the 4 rock samples tested statically, all samples showed PAF (Potencial Acid Forming) screening criteria. The results of the kinetic test showed that sample S1 experienced an increase in pH to 4,43, sample S2 experienced a decrease in pH to 8,03, sample S3 experienced an increase in pH to 2,44, and sample S4 experienced an increase to 7,24.

Keywords:

Mining,
Rock,
Static Test,
Kinetic Test,

Received: August 04th 2025
Reviewed: August 06th 2025
Pulished: August 31st 2025

ABSTRAK

Pada akhir penambangan, tambang batubara terbuka akan membentuk kolam tambang, juga dikenal sebagai "pit lake". Pada PT ABC, litologi batuan dinding pit terdiri dari 30% batuan yang berpotensi asam dan 70% batuan yang tidak berpotensi asam, dengan kualitas air sump dengan pH yang rendah. Uji statik dimaksudkan untuk menghitung neraca komponen pembentuk asam dan komponen pengkonsumsi asam. Uji statik tidak mempertimbangkan laju pembentukan dan penetralan asam. Tujuannya adalah mengetahui potensi pembentukan asam yang terjadi pada batuan. Uji kinetik bertujuan untuk memahami kinetika reaksi pembentukan asam pada sampel melalui suatu simulasi reaksi oksidasi dalam batuan. Uji ini dapat memprediksi karakteristik pelapukan jangka panjang sebagai fungsi dari waktu. Dari 4 sampel batuan yang diuji statik, semua sampel menunjukkan kriteria penapisan PAF (Potencial Acid Forming). Hasil dari uji kinetik menunjukkan sampel S1 mengalami kenaikan pH menjadi 4,43, sampel S2 mengalami penurunan pH menjadi 8,03, sampel S3 mengalami kenaikan pH menjadi 2,44, dan sampel S4 mengalami kenaikan menjadi 7,24.

Kata Kunci:

Pertambangan,
Batuan,
Uji Statik,
Uji Kinetik,

Diterima: 04 Agustus 2025
Direview: 06 Agustus 2025
Dipublikasi: 31 Agustus 2025



PENDAHULUAN

Dampak terbesar akibat dari aktivitas penambangan batubara dengan sistem tambang terbuka adalah terbentuknya pit lake [1]. Seiring dengan perluasan lubang bukaan tambang, dilakukan penimbunan kembali dengan menggunakan batuan penutup (backfilling) pada area yang telah ditambang sebagai salah satu tahapan reklamasi untuk memperkecil luas lubang bukaan pada akhir kegiatan penambangan. Namun, penimbunan kembali tidak dapat sepenuhnya dilakukan dan masih akan menyisakan area yang tidak tertimbun (void). Area akan terisi air secara alami melalui air hujan, aliran air tanah ataupun aliran air dari sekitar daerah pit yang masuk ke dalam pit dan akan membentuk pit lake [2]. Kita juga perlu mengetahui seberapa baik kualitas air di pit lake tersebut.

Kualitas air pembentuk pit lake dapat berasal dari beberapa sumber, salah satunya adalah dari dinding lapisan batuan penutup [3]. Air yang mengalir melalui dinding lapisan tersebut dapat membentuk air asam tambang. Air asam tambang memiliki dampak negatif yang signifikan pada ekosistem air. Ini dapat merusak kualitas air, membahayakan organisme akuatik, dan mengakibatkan kerugian ekosistem. Untuk mencegah terbentuknya air asam tambang maka perlu dilakukan pengujian kualitas dari dinding lapisan batuan yang akan dilewati oleh air tersebut [4]. Oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi geokimia batuan pada litologi dinding batuan penutup pada pertambangan batubara [5].

Litologi batuan dinding pit daerah penelitian PT ABC terdiri dari tiga puluh persen batuan yang berpotensi asam dan tujuh puluh persen batuan yang tidak berpotensi asam, dengan kualitas air sump yang memiliki pH yang rendah. Karakterisasi geokimia batuan merupakan tahap awal untuk memahami pembentukan air asam tambang. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian awal dengan sampel batuan dari lapisan dinding batuan penutup. Pengujian yang dilakukan adalah serangkaian uji fisik, uji kinetik menggunakan metode Free Draining Column Leach Test (FDCLT) guna mengetahui pembentukan air asam tambang dalam jangka panjang.

METODOLOGI

Agar mendapatkan hasil yang memuaskan dan dapat dipertanggung jawabkan, penelitian ini harus dilakukan dengan cara yang jelas dan teratur, seperti halnya penelitian ilmiah. Oleh karena itu, penelitian dibagi menjadi beberapa tahap. Tahap persiapan: melibatkan persiapan semua bahan dan peralatan yang dibutuhkan untuk penelitian, Tahap pengumpulan data: pada tahap ini dilakukan pengambilan sampel langsung di lapangan guna mendapatkan data yang aktual, Tahap analisis dan pembahasan: selanjutnya dalam tahap ini ialah menguji sampel dan kemudian menganalisis data hasil pengujian menjadi kriteria penapisan geokimia batuan, Tahap kesimpulan: tahap ini akan dibuat satu kesimpulan yang berdasarkan analisis data dan pembahasanya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, sample batuan diambil dari salah satu pit. PT XYZ yaitu pada pit ABC. Sampel yang diambil pada penelitian ini mewakili litologi yang ada pada lokasi penambangan. Dalam penelitian ini, ada empat sampel yang digunakan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Deskripsi Sampel

Kode Sampel	Waktu Pengambilan	Litologi
S1	10.56 WITA	Mudstone
S2	11.34 WITA	Mudstone
S3	14.27 WITA	Mudstone
S4	15.15 WITA	Mudstone

Sumber: Pengolahan data, 2025

Sampel diambil di dinding pit, yang dapat mewakili litologi batuan yang berbeda. Sampel diambil dalam satu hari, pada waktu yang berbeda-beda. Faktor keamanan juga menentukan lokasi

pengambilan sampel. Oleh karena itu, pengambilan sampel dilakukan di tempat yang dianggap aman selama proses pengambilan sampel. Jumlah sampel yang diambil adalah empat.

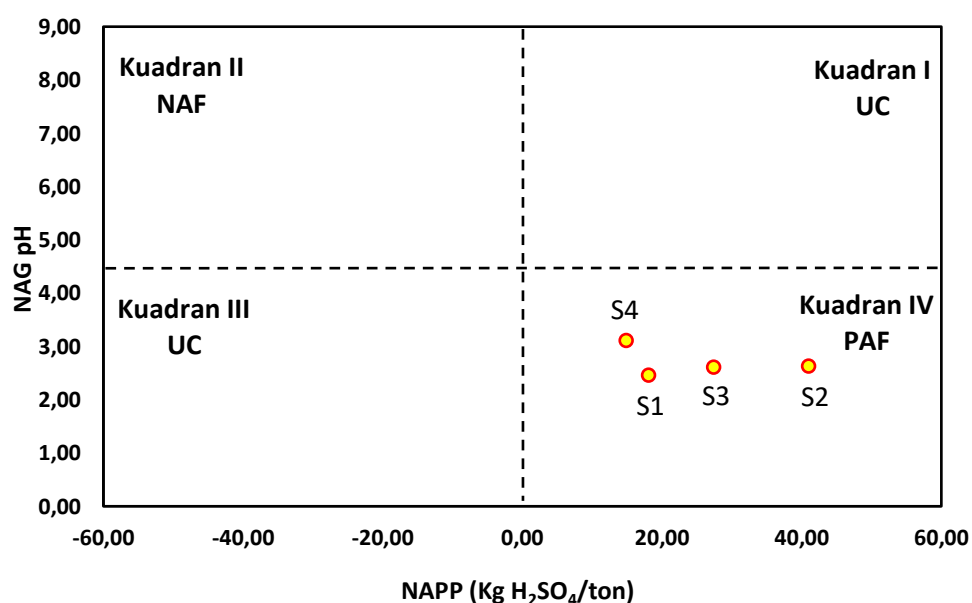
Hasil Uji Statik

Adapun serangkaian uji statik meliputi pH pasta, uji ANC, uji NAG, dan uji total sulfur pada Tabel 2. Uji pH pasta dilakukan melalui pencampuran antara sampel batuan yang berukuran – 200# mesh dengan air destilat dengan rasio 1:2. Acid-Base Accounting (ABA) merupakan salah satu uji yang bertujuan untuk menentukan parameter kemampuan pembentukan asam dan kapasitas penetral asam dari sampel uji. Hasil uji ABA akan menghasilkan parameter Net Acid Producing Potential (NAPP). Dalam uji ABA, dilakukan beberapa uji yaitu uji total sulfur dan uji Acid Neutralizing Capacity (ANC). Nilai total sulfur yang didapat dari hasil uji digunakan untuk menghitung nilai Maximum Potential Acid (MPA) dengan cara mengalikan total sulfur dengan 30,625 kg H₂SO₄/ton batuan. Pada uji Acid Neutralizing Capacity (ANC) dilakukan penambahan asam kuat (HCl) yang akan dinetralkan oleh material penetral asam yang ada di dalam batuan. Pada Net Acid Generation (NAG) Test dilakukan dengan pengoksidasi seluruh mineral sulfida, baik reaktif maupun tidak reaktif, dengan menggunakan oksidator kuat [6].

Tabel 2. Hasil Uji Statik Sampel Batuan

No	Kode Sampel	pH Paste	ANC (Kg H ₂ SO ₄ /ton)	NAG pH	NAG (Kg H ₂ SO ₄ /ton)		Total Sulfur (%)	MPA	NAPP	TIPE BATUAN
					pH 4.5	pH 7				
1	S1	4.63	0	2.45	56.8	99.40	0.59	18.14	18.14	PAF
2	S2	5.89	3.36	2.62	24.00	39.50	1.45	44.42	41.06	PAF
3	S3	2.72	0	2.60	31.00	46.90	0.90	27.46	27.46	PAF
4	S4	5.89	3.83	3.11	5.67	14.80	0.61	18.72	14.90	PAF

Untuk menentukan apakah batuan bersifat Potentially Acid Forming (PAF), Non-Acid Forming (NAF), atau Uncertain (UC), klasifikasi dilakukan berdasarkan nilai pH NAG dan NAPP setiap sampel batuan, terlihat pada Gambar 1. Jika pH NAG lebih dari 0 dan pH NAG kurang dari 4,5, batuan diklasifikasikan sebagai PAF, jika pH NAG lebih dari 0 dan pH NAG kurang dari 4,5 diklasifikasikan sebagai NAF, dan jika pH NAG lebih dari 4,5 diklasifikasikan sebagai UC.



Gambar 1. Kriteria Penapisan Klasifikasi Geokimia Batuan

Hasil Uji Kinetik

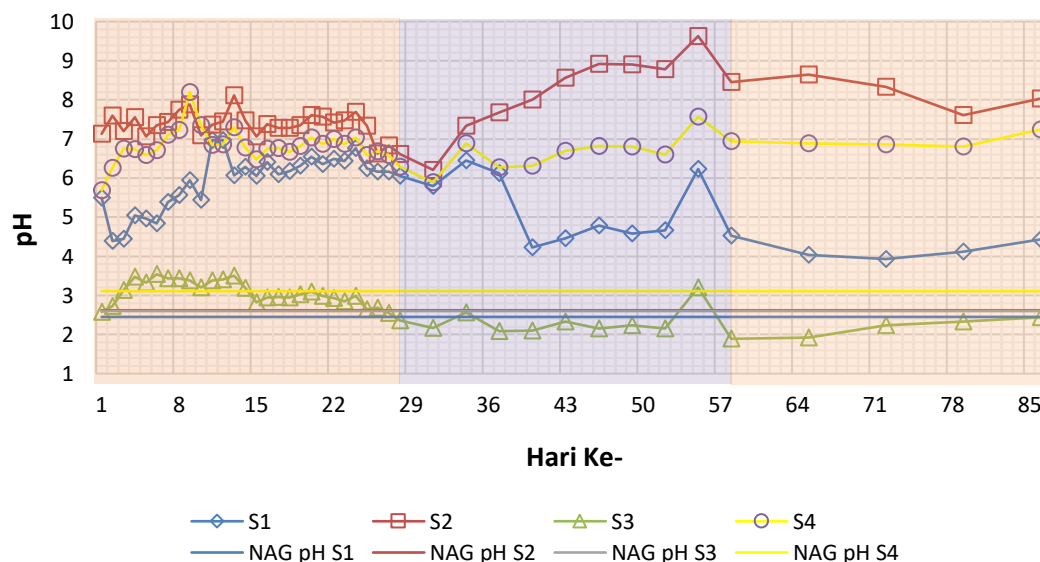
Uji kinetik mensimulasikan proses pelindian dan oksidasi sampel batuan. Hasil pengukuran keasaman air lindian dapat menunjukkan apakah sampel dapat menghasilkan asam. Akibatnya, hasil uji kinetik dapat digunakan untuk mengkonfirmasi atau menentukan jenis sampel batuan yang digunakan.

Pengujian kinetik dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode uji *Free Draining Column Test* (FDCLT) [7]. Siklus penyiraman dapat dilakukan setiap hari, setiap tiga hari, atau setiap minggu. Metode ini menggunakan pengukuran fisik dan kimia untuk mengukur parameter air lindian.

Nilai pH sampel S1 meningkat dari 5,49 pada hari pertama menjadi 6,05 pada hari ke-28. Nilai pH sampel S2 turun dari 7,13 menjadi 6,62 pada hari ke-28. Nilai pH sampel S3 turun dari 2,58 pada hari pertama menjadi 2,36 pada hari ke-28. Nilai pH sampel S4 meningkat dari 5,69 pada hari pertama menjadi 6,28 pada hari ke-28.

Nilai pH sampel S1 turun dari 5,8 pada hari ke-31 menjadi 4,53 pada hari ke-58, sedangkan nilai pH sampel S2 naik dari 6,21 pada hari ke-31 menjadi 8,45 pada hari ke-58. Nilai pH sampel S3 turun dari 2,17 pada hari ke-31 menjadi 1,89 pada hari ke-58. Nilai pH sampel S4 naik dari 5,89 pada hari ke-31 menjadi 6,94 pada hari ke-58.

Nilai pH sampel S1 naik dari 4,04 pada hari ke-65 menjadi 4,43 pada hari ke-86. Nilai pH sampel S2 turun dari 8,64 pada hari ke-65 menjadi 8,03 pada hari ke-86. Nilai pH sampel S3 naik dari 1,92 pada hari ke-65 menjadi 2,44 pada hari ke-86. Nilai pH sampel S4 naik dari 6,89 pada hari ke-65 menjadi 7,24 pada hari ke-86. Grafik Nilai pH Hasil uji Kinetik Sampel Batuan terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Nilai pH Hasil Uji Kinetik Sampel Batuan

Hasil Uji Kualitas Air Lindian

Untuk mendukung data hasil pengukuran fisik air lindian, dilakukan analisis tambahan yaitu dengan melakukan pengukuran kandungan logam yang terdapat pada air lindian tersebut untuk melihat perubahan yang terjadi pada air lindian tersebut, terutama yang memiliki pH rendah [8]. Hasil uji kualitas Air Lindian terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Kualitas Air Lindian (Hari ke-28)

No	Parameter Uji	Satuan	Sampel			
			S1	S2	S3	S4
1	Na	ppm	2.89	1.52	2.41	1.37
2	Mg	ppm	0.1	5.94	6.19	4.14
3	Al	ppm	1.06	0.51	0.88	-
4	Si	ppm	2.87	1.44	6.92	0.8
5	K	ppm	2.32	2.62	2.8	2.02
6	Ca	ppm	0.3	7.38	6.76	5.25
7	Mn	ppm	-	0.01	0.33	0.27
8	Fe	ppm	0.13	0.3	11.41	-
9	Zn	ppm	0.03	0.04	1.09	0.01

KESIMPULAN

Uji karakteristik geokimia sampel batuan dinding pit menunjukkan bahwa semua sampel adalah batuan PAF. Hasil uji statik menunjukkan bahwa semua sampel memiliki nilai NAPP lebih dari 0, dan pH NAG kurang dari 4,5. Hasil uji kinetik menunjukkan bahwa nilai pH sampel S1 adalah 6,05, sampel S2 6,62, sampel S3 adalah 2,36, dan sampel S4 adalah 6,28, yang menunjukkan bahwa sampel S3 adalah penanda keasaman dengan nilai pH rendah.

REFERENSI

- [1] D. N. Castendyk, L. E. Eary, and L. S. Balistrieri, "Modeling and management of pit lake water chemistry 1: Theory," *Applied Geochemistry*, vol. 57, pp. 267–288, Jun. 2015, Link: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.09.004>
- [2] M. Schultze, K.-H. Pokrandt, and W. Hille, "Pit lakes of the Central German lignite mining district: Creation, morphometry and water quality aspects," *Limnologica*, vol. 40, no. 2, pp. 148–155, May 2010, Link: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.11.006>
- [3] B. G. Lottermoser, *Mine Waste*. New York: Springer, 2010.
- [4] E. J. Tuheteru, R. S. Gautama, G. J. Kusuma, A. A. Kuntoro, K. Pranoto, and Y. Palinggi, "Water Balance of Pit Lake Development in the Equatorial Region," *Water (Basel)*, vol. 13, no. 21, p. 3106, Nov. 2021, Link: <https://doi.org/10.3390/w13213106>
- [5] G. J. Kusuma et al., "Geochemical Characterization of Pit Wall Rocks: A Preliminary Step in Predicting the Water Quality of Pit Lake," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 1175, no. 1, p. 012016, May 2023, Link: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1175/1/012016>
- [6] R. S. Gautama, *Pembentukan, Pengendalian dan Pengelolaan Air Asam Tambang*. Bandung: ITB, 2014.
- [7] D. E. Andini, Irvani, Henri, N. B. Susilo, P. Widodo, and R. V Lovina, "Predicting water quality in tin mining using the free drainage column leach test," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 1419, no. 1, p. 012043, Dec. 2024, Link: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1419/1/012043>
- [8] M. S. Abfertiawan, Y. Palinggi, M. Handajani, K. Pranoto, and A. Atmaja, "Evaluation of Non-Acid-Forming material layering for the prevention of acid mine drainage of pyrite and jarosite," *Heliyon*, vol. 6, no. 11, p. e05590, Nov. 2020, Link: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05590>