

ANALISIS PENGGUNAAN KAPUR TOHOR DALAM PENGELOLAAN AIR ASAM TAMBANG DI PT BUMI MERAPI ENERGI LAHAT

Heru Saputra^{1*}, Reni Arisanti², Rodiyah Nursani³

Universitas Prabumulih.

Jl. Patra No.50, Sukaraja, Kec. Prabumulih Sel., Kota Prabumulih, Sumatera Selatan 31111, Indonesia.

Email : herusaputra170302@gmail.com^{1*}, reniarisanti17@gmail.com², rodiyahnursani@gmail.com³

ARTICLE INFO

Article history:

Received,

20 June 2026

Revised,

29 June 2026

Accepted,

18 July 2026

Kata Kunci: Air Asam Tambang, Kapur Tohor, Pertambangan, Proses Pengolahan.

Keywords: Acid Mine Drainage, Quicklime, Mining, Processing.

Abstrak

Pertambangan merupakan suatu bidang usaha yang sifatnya selalu menimbulkan perubahan pada alam lingkungan sekitar. Kelancaran aktifitas kegiatan pertambangan batubara menghendaki tidak hanya mutu dan kualitas serta sistem pengambilan material batubara di wilayah konsensi pertambangan batubara saja, tetapi juga sistem pengelolaan lingkungan yang handal dalam menjaga ekosistem didalamnya tetap sesuai baku mutu yang dipersyaratkan untuk mengembalikan alam seperti sedia kala. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui cara mengelola air asam tambang, pengukuran PH air asam tambang di inlet dan outlet, serta menganalisis kebutuhan kapur yang digunakan untuk menaikkan pH air asam tambang. Pengelolaan air asam tambang di PT Bumi Merapi Energi menggunakan metode aktif yang mana kapur tohor sebagai media penetralan air, pengukuran PH air asam tambang pada inlet dan outlet di KPL 1,2,3, dan 4 dilakukan secara berkala selama satu hari atau setiap hari dengan menggunakan PH meter test untuk mengetahui jumlah penggunaan kapur.

Abstract

Mining is a business sector that always causes changes to the surrounding natural environment. The smooth running of coal mining activities requires not only the quality and quantity as well as the system of coal material extraction in the coal mining concession area, but also a reliable environmental management system in maintaining the ecosystem within it according to the required quality standards to restore nature as before. The purpose of this study is to find out how to manage acid mine drainage, measure the pH of acid mine drainage at the inlet and outlet, and analyze the need for lime used to increase the pH of acid mine drainage. Acid mine drainage management at PT Bumi Merapi Energi uses an active method in which quicklime is used as a water neutralization medium, measurement of the pH of acid mine drainage at the inlet and outlet at KPL 1,2,3, and 4 is carried out periodically for one day or every day using a pH meter test to determine the amount of lime used.

PENDAHULUAN

Pertambangan merupakan suatu bidang usaha yang sifatnya selalu menimbulkan perubahan pada alam lingkungan sekitar. United Nations Environment Programme (UNEP, 1999) menggolongkan dampak-dampak yang timbul dari kegiatan pertambangan antara lain: kerusakan habitat dan biodiversity di sekitar lokasi pertambangan, limbah tambang dan pembuangan tailing, buangan air limbah dan air asam tambang, pengelolaan bahan kimia, keamanan, dan pemaparan bahan kimia ditempat, toksisitas logam berat dan kesehatan masyarakat dan pemukiman di sekitar tambang. Kegiatan ini, secara umum menimbulkan kerusakan pada permukaan bumi, antara lain terbentuknya air asam tambang. Dampak yang dapat ditimbulkan akibat air asam tambang adalah terjadinya pencemaran lingkungan, dimana komposisi atau kandungan air di daerah yang terkena dampak tersebut akan berubah sehingga dapat mengurangi kesuburantanah, mengganggu kesehatan masyarakat sekitarnya, dan dapat mengakibatkan korosi pada peralatan tambang (Baiquni, 2007).

Air asam dapat terbentuk secara alami, sebagai akibat teroksidasi dan terlarutkannya sulfida ke dalam sistem aliran air permukaan dan air tanah menyebabkan turunnya pH air. Kegiatan penambangan, dengan membongkar endapan sulfida, berpotensi memperbesar dan mempercepat proses pembentukan air asam. Pembentukan air asam akibat kegiatan penambangan atau sering disebut dengan air asam tambang perlu dicegah.

Air asam tambang yang tidak dapat dihindarkan terbentuk di wilayah tambang, harus dinetralkan agar tidak berdampak buruk terhadap lingkungan sekitarnya. Air asam tambang yang dihasilkan dari kegiatan penambangan batubara harus sesuai dengan baku mutu agar dapat dibuat ke lingkungan tanpa adanya potensi terjadi pencemaran lingkungan sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan pH air asam tambang mendekati netral. Maka dari penjelasan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengelolaan air asam tambang menggunakan kapur tohor.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk penelitian eksperimental dengan analisis kuantitatif. Peneliti melakukan observasi lapangan kegiatan yang berupa kunjungan dan pengamatan langsung. Tujuan dari observasi langsung untuk mengumpulkan data yang terkait dengan penelitian. Data dapat berupa data primer dan data sekunder. Data primer ini adalah data yang bersifat variabel dan berubah pH air asam tambang di *inlet* (tempat masuk) dan *outlet* (tempat keluar). Debit air yang masuk ke KPL. Dosis kapur tohor (gram/m³). Data dimensi KPL. Data sekunder ini merupakan data penunjang yang berkaitan dengan penelitian Tugas Akhir misalnya data rencana produksi, data jenis peralatan, curah hujan, peta topografi, kesampaian daerah. Pengolahan data dilakukan berdasarkan hasil dari pengamatan untuk menghasilkan tentang pelaksanaan pertambangan yang berwawasan lingkungan. Pengolahan data yang dilakukan dengan menggabungkan antara data primer dan data sekunder yang didapatkan. Data dianalisis secara kuantitatif agar dapat diketahui pengendalian air asam. Data yang telah didapatkan dari hasil pengamatan selama dilapangan akan dilakukan pengolahan data berupa perhitungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut Nasir (2014) Air asam tambang dapat terjadi pada kegiatan penambangan baik itu tambang terbuka maupun tambang dalam, umumnya keadaan ini terjadi karena unsur sulfur yang terdapat di dalam batuan teroksidasi secara alamiah didukung juga dengan curah hujan yang tinggi semakin mempercepat perubahan oksida sulfur menjadi asam. Pertambangan batubara, kandungan logam yang dimaksud dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 yaitu besi dan mangan. Keberadaan besi pada kerak bumi menempati posisi keempat terbesar. Besi ditemukan dalam bentuk kation ferro (Fe^{2+}) dan ferri (Fe^{3+}). Pada perairan alami dengan pH sekitar 7 dan kadar oksigen terlarut yang cukup, ion ferro yang bersifat mudah larut dioksidasi menjadi ion ferri. Pada oksidasi ini terjadi pelepasan elektron. Sebaliknya, pada reduksi ferri menjadi ferro terjadi penangkapan elektron. Mangan adalah kation logam yang memiliki karakteristik kimia serupa dengan besi. Mangan berada dalam bentuk manganous (Mn^{2+}) dan manganik (Mn^{4+}).

Kalsium Oksida (CaO) secara umum dikenal sebagai kapur bakar, merupakan senyawa kimia yang digunakan secara luas berupa kristal basa, kaustik dan zat padat putih pada suhu kamar (Haynes, 2011). Proses penetralan air asam tambang umumnya menggunakan kapur tohor. Kapur merupakan salah satu jenis batuan yang dapat digunakan untuk meningkatkan pH secara praktis, murah dan aman sekaligus dapat mengurangi kandungan logam berat yang terkandung didalam air asam tambang, (Herlina et al., 2014). Netralisasi Ada beberapa jenis bahan kimia utama yang banyak digunakan untuk mengolah air asam tambang. Tiap-tiap bahan memiliki karakteristik kimia yang membuatnya lebih atau kurang sesuai untuk kondisi tertentu, bergantung pada faktor-faktor teknis dan ekonomi. Faktor-faktor teknis meliputi tingkat keasaman, laju aliran, jenis dan konsentrasi logam yang ada di dalam air, laju dan tingkat pengolahan kimia yang diperlukan dan kualitas air yang dikehendaki (Said, 2014).

Baku mutu lingkungan menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi,

atau komponen yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam suatu sumber daya tertentu sebagai unsur lingkungan hidup. Baku mutu lingkungan ini berfungsi untuk menentukan terjadinya pencemaran lingkungan hidup. Sedangkan Baku mutu lingkungan hidup meliputi baku mutu air; baku mutu air limbah; baku mutu air laut; baku mutu udara ambien; baku mutu emisi; baku mutu gangguan; dan baku mutu lain sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Sedangkan baku mutu air limbah batubara menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan Atau Kegiatan Pertambangan Batubara, adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemaran yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah batu bara yang akan dibuang atau dilepas ke air permukaan.

Berdasarkan fungsi baku mutu lingkungan, diperlukan cara untuk menentukan terjadi atau tidaknya pencemaran dari kegiatan industri, *Effluent Standard*, merupakan kadar maksimum limbah yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan. *Stream Standard*, merupakan batas kadar untuk sumberdaya tertentu, seperti sungai, waduk, dan danau. Kadar yang diterapkan ini didasarkan pada kemampuan sumberdaya beserta sifat peruntukannya. Misalnya batas kadar badan air untuk air minum akan berlainan dengan batas kadar bagi badan air untuk pertanian.

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Penambangan Batubara Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
Ph		6-9
Residu Tersuspensi	Mg/i	400
Besi (Fe) Total	Mg/i	7
Mangan (Mn) total	Mg/i	4

Sumber: Data Penelitian, 2026

Tabel 1. Sehubungan dengan baku mutu lingkungan, ada istilah nilai ambang batas yang merupakan batas-batas daya dukung, daya tenggang dan daya toleransi atau kemampuan lingkungan. Nilai ambang batas tertinggi atau terendah dari kandungan zat-zat, makhluk hidup atau komponen-komponen lain dalam setiap interaksi yang berkenaan dengan lingkungan khususnya yang mempengaruhi mutu lingkungan. Jadi jika terjadi kondisi lingkungan yang telah melebihi nilai ambang batas (batas maksimum dan minimum) yang telah ditetapkan berdasarkan baku mutu lingkungan maka dapat dikatakan bahwa lingkungan tersebut telah tercemar.

Pengelolaan air asam tambang perlu dilakukan sebelum air tersebut dibuang atau dialirkan ke badan air, air yang di buang badan air harus dalam keadaan netral atau bisa dibilang memiliki pH yang berada di antara 6-9. Sehingga nantinya tidak mencemari perairan yang berada di sekitar lokasi tambang, agar masyarakat sekitarnya bisa menggunakan air yang berasal dari perairan/badan air/sungai. Pengelolaan air asam tambang dapat dilakukan dengan cara penetralan pH dan penjernihan air. Proses pengelolaan air asam tambang menggunakan bahan kimia, untuk penetralan air asam tambang bisa menggunakan kapur dan tawas, untuk menaikkan pH air menggunakan kapur sedangkan untuk penjernihan air menggunakan tawas. Penggunaan kapur dan tawas dilakukan setiap hari dan untuk jumlah yang di perlukan sesuai dengan keadaan situasi dan kondisi, jika sering terjadi hujan bisa menambah penggunaan dari kapur dan tawas. Metode pengelolaan ini bisa disebut adalah water treatment merupakan suatu pengolahan air untuk menjernihkan atau menetralkan air yang terkontaminasi menjadi air yang dikategorikan bersih sesuai dengan baku mutu. Fungsi watertreatment antara lain yaitu untuk mengolah air asam tambang sesuai dengan baku mutu air limbah yang telah di tetapkan.

Proses pengolahan air asam tambang PT. Bumi Merapi Energi dilakukan di kolam pengendapan lumpur (KPL), dimana PT. Bumi Merapi Energi memiliki 4 kolam pengendapan lumpur dengan luas yang sama. Ukuran setiap kolam pengendapan lumpur PT. Bumi Merapi Energi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Ukuran Kolam Pengendapan

No	Kolam Pengendap	Ukuran		
	Lumpur	Panjang	Lebar	Tinggi
1	Kolam 1	20 Meter	15 Meter	10 Meter
2	Kolam 2	20 Meter	15 Meter	10 Meter
3	Kolam 3	20 Meter	15 Meter	10 Meter
4	Kolam 4	20 Meter	15 Meter	10 Meter

Sumber: Data Penelitian, 2026

Tabel 2. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di PT. Bumi merapi energi tentang air asam tambang, maka diperoleh data hasil pengukuran pH air asam tambang di saluran inlet yang dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dari tanggal 1 Februari 2024 sampai dengan 20 Maret 2024, maka

diperoleh data pengukuran pH air asam tambang di saluran inlet yaitu berkisaran antara 5,1 sampai 5,9 artinya pH air asam tambang di saluran inlet PT. Bumi Merapi Energi dikategorikan cukup asam.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran pH Air Asam Tambang di Saluran Inlet dan Outlet Bulan Februari

No	Tanggal	Volume Air Kp M3	Jumlah Kapur Tohor (Kg)	pH Outle Sesudah Treatment	pH Inlet Sebelum Tr Eatment	Kebutuhan Kapur Untuk Menaikan Ph/M3
1	1/2/2024	3.100		6.57	6.57	
2	2/2/2024	2.001	100	6.13	5.3	0.02
3	3/2/2024	2.599	100	7.07	5.7	0.03
4	4/2/2024	2.694	50	6.66	5.6	0.05
5	5/2/2024	2.800	100	6.38	5.4	0.03
6	6/2/2024	1.900	60	6.51	5.3	0.03
7	7/2/2024	2.342		6.56	6.56	
8	8/2/2024	2.500	70	6.02	5.8	0.04
9	9/2/2024	1.899		6.28	6.28	
10	10/2/2024	1.543		6.19	6.19	
11	11/2/2024	1.992		6.07	6.19	
12	12/2/2024	2.098	150	6.62	5.2	0.01
13	13/2/2024	2.766	70	6.22	5.7	0.04
14	14/2/2024	2.600	100	5.84	5.6	0.03
15	15/2/2024	2.902	70	6.26	5.4	0.04
16	16/2/2024	2.987	70	6.41	5.8	0.04
17	17/2/2024	3.032	70	6.19	5.4	0.04
18	18/2/2024	1.876		6.6	6.6	
19	19/2/2024	2.342	35	6.15	5.3	0.07
20	20/2/2024	2.690		6.99	6.99	
21	21/2/2024	3.254	100	6.17	5.6	0.03
22	22/2/2024	3.600	70	6.45	5.7	0.05
23	23/2/2024	3.254	70	6.66	5.3	0.05
24	24/2/2024	3.900	200	6.09	5.4	0.02
26	25/2/2024	3.850	200	6	5.7	0.02
26	26/2/2024	3.542		6.91	6.91	
27	27/2/2024	3.414	20	6.52	5.6	0.17
28	28/2/2024	4.299		6.38	6.38	
29	29/2/2024	2.438		6.49	6.49	
Rata-Rata pemberian kapur untuk per 1 M3 AAT guna menaikan PH						0.04 kg/m³

Tabel 3. Selain pengukuran pH di saluran inlet, peneliti juga melakukan pengukuran pH air asam tambang di saluran outlet. Pengapuran di PT. Bumi Merapi Energi dilakukan 1 kali dalam 1 bulan hal ini menyebabkan pH air asam tambang mengalami peningkatan. Pertama air dari lokasi penambangan Lapisan batuan akan terbuka sebagai akibat dari terkupasnya lapisan tanah penutup, sehingga sulfur yang terdapat dalam batubara akan mudah teroksidasi dan bila bereaksi dengan air akan membentuk air asam tambang. Kedua, air dari lokasi penimbunan batubara dapat menghasilkan air asam tambang karena adanya kontak langsung dengan udara bebas yang selanjutnya terjadi pelarutan akibat adanya air. Masalah ini berkaitan erat dengan proses pembentukan

batubara dimana pembentukan batubara terdapat sulfur dan mineral pengotor yang berupa mineral sulfida (pyrit). Air lokasi penimbunan ini merupakan sumber air utama air asam tambang.

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran pH Air Asam Tambang di Saluran Inlet dan Outlet Bulan Maret

No	Tanggal	pH Inlet Sebelum Treatment	pH Sesudah Treatment (Outlet)	Kebutuhan Kapur Untuk Menaikan Ph/M3
1	1/3/2024	5.4	6.5	0.03
2	2/3/2024	5.8	6.09	0.03
3	3/3/2024	5.6	6.27	0.03
4	4/3/2024	5.3	7.09	0.03
5	5/3/2024	6.7	6.7	
6	6/3/2024	5.4	6,27	0.03
7	7/3/2024	5.1	6.81	0.04
8	8/3/2024	5.3	6.39	0.03
9	9/3/2024	5.6	7.12	0.03
10	10/3/2024	5.4	6.66	0.02
11	11/3/2024	5.6	6.08	0.03
12	12/3/2024	5.3	6.34	0.03
13	13/3/2024	5.6	6.51	0.03
14	14/3/2024	5.9	6.6	0.04
15	15/3/2024	5.3	6.72	0.03
16	16/3/2024	5.2	6.93	0.03
17	17/3/2024	5.3	6.34	0.04
18	18/3/2024	5.7	6.43	0.02
19	19/3/2024	6.6	6,6	
20	20/3/2024	5.3	6,1	0.02
21	21/3/2024	6.8	6.8	
22	22/3/2024	5.9	7.12	0.04
23	23/3/2024	5.3	6.51	0.02
24	24/3/2024	5.2	6.81	0.04
25	25/3/2024	5.3	6.9	0.03
26	26/3/2024	5.7	8.89	0.03
27	27/3/2024	5.3	6.69	0.03
28	28/3/2024	5.2	7.02	0.04
31	31/3/2024	5.4	6.28	0.01
Rata-Rata pemberian kapur untuk per 1 M3 AAT guna menaikkan PH				0.03 kg/m³

Tabel 4. Berdasarkan hasil pengukuran pH air asam tambang di saluran outlet yang dilakukan dari tanggal 1 Februari 2024 sampai dengan 20 Maret 2024, maka diperoleh data pengukuran pH air asam tambang di saluran *outlet* yaitu berkisaran antara 6,02 sampai 7,33 artinya pH air asam tambang di saluran outlet PT. Bumi merapi energi dikategorikan tergolong dengan pH basa. Sebelum menentukan banyak takaran kapur tohor yang akan digunakan di kolam pengendapan lumpur PT. Bumi Merapi Energi, maka langkah pertama yang perlu dilakukan kita harus menentukan dosis kapur yang harus kita gunakan untuk dicampurkan dengan air asam tambang. sehingga dihasilkan pH yang normal.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kebutuhan Kapur Menaikan pH Air Asam Tambang

No	pH ATT	Berat Kapur				
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1	pH Awal	5,4	5,7	5,8	5,9	5,7
2	pH Akhir	6,28	6,4	6,09	6,4	6,4

Tabel 5 menunjukkan bahwa penambahan kapur tohor sebanyak 0,4 M³ memberikan peningkatan terhadap pH air yang di uji, pH akhir yang didapat dengan penambahan kapur sebanyak 0,4 M³ yaitu menghasilkan pH sebesar 6,4 sehingga hasil tersebut mendekati pH normal. Setelah mendapatkan dosis kapur yang optimal, maka kita bisa menentukan banyak kapur tohor yang harus digunakan di lapangan, maka langkah pertama yang harus kita tentukan adalah mengukur volume air kolam. Berdasarkan hasil penelitian di lapangan diketahui luas kolam pengendap lumpur (KPL) dengan luas rata-rata dari ke empat kolam yaitu 20 meter x 15 meter x 10 meter. Untuk menghitung volume air yang berada di KPL dapat menggunakan rumus $\text{Volume Air} = P \times L \times T$.

(Panjang) 20 Meter = 2000 CML. (Lebar) 15 Meter = 1500 CMT. (Tinggi) 10 Meter = 1000 CM. Dosis Kapur = 0,8 Gram/Liter. Volume Air = 2000 x 1500 x 1000. Volume Air = $3.000.000.000\text{cm}^3 = 3.000.000\text{dm}^3 = 3.000.000.00\text{ dm}^3 = 3.000\text{ Liter} = 3.000.000 \times 0,8 = 2.400.000 = 2.400\text{kg}$ kapur.

Jadi untuk menetralkan pH air bekas penambangan dalam 1 kolam pengendap lumpur dengan spesifikasi kolam yang telah tertera yaitu dibutuhkan 2.400 kg kapur agar bisa menetralkan air yang berada di kolam pengendap lumpur tersebut.

KESIMPULAN

Proses pengelolaan air asam tambang dapat dilakukan dengan cara penetralan pH dan penjernihan air dan menggunakan bahan kimia dan penetralan air asam tambang bisa menggunakan kapur tohor serta penjernihannya menggunakan tawas yang dilakukan setiap hari. Pengukuran pH air asam tambang pada Inlet dan Outlet dilakukan secara berkala selama 1 hari atau setiap hari. Dilakukannya pengukuran untuk mengetahui jumlah penggunaan kapur. Dengan 0,8 gr kapur untuk 1 liter air sudah cukup untuk menetralkan air dengan pH awal 4,20 menjadi 7,12. Hal tersebut bisa terjadi karena faktor lain seperti hujan. Dapat juga dilakukan regresi penggunaan kapur KPL 1,2,3 dan KPL 4. Penambahan kapur tohor sebanyak 0,4 M3 memberikan peningkatan terhadap pH air yang di uji, pH akhir yang didapat dengan penambahan kapur sebanyak 0,4 M3 menghasilkan pH sebesar 6,4 dan mendekati pH normal. luas kolam pengendap lumpur (KPL) dengan luas rata-rata dari ke empat kolam yaitu 20 meter x 15 meter x 10 meter sehingga penetralisirkan pH air bekas penambangan dalam 1 kolam pengendap lumpur dengan spesifikasi kolam yang telah tertera yaitu dibutuhkan 2.400 kg.

REFERENSI

- Ahmad, M., & Tosepu, R. (2023). Analisis kualitas air dan upaya penanggulangan air asam tambang pada area konsesi pertambangan. *Jurnal Kesehatan Masyarakat dan Lingkungan*, 8(2), 145–158. <https://doi.org/10.33096/jkml.v8i2.923>
- Anshariah, Widodo, E., & Nuhung, R. (2015). Studi pengelolaan air asam tambang pada PT. Rimau Energi Mining Kabupaten Barito Timur Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Geomine*, 1(1), 46–54.
- Gautama, R. S. (2012). *Pengelolaan air asam tambang*. Bimbingan Teknis Reklamasi dan Pascatambang Pada Kegiatan Pertambangan Mineral dan Batubara, Ditjen Mineral dan Batubara, KESDM, Yogyakarta.
- Guntoro, W., Widayanti, S., & Usman, D. N. (2023). Analisis kebutuhan kapur tohor dalam menetralkan air asam. *Bandung Conference Series: Mining Engineering*, 3(1), 107–114.
- Habsyi, I., & Rakhman, A. (2014). Kajian penggunaan kebutuhan kapur dalam pengolahan air asam tambang settling pond 02 di PT. Bara Kumala Sakti Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Pertambangan*, 1(1).
- Haynes, W. M. (Ed.). (2011). *CRC handbook of chemistry and physics* (92nd ed., p. 4.55). CRC Press.
- Hidayah, N., & Rahayu, S. (2022). Efektivitas pemanfaatan limbah cangkang kerang sebagai material penetral pada pengolahan air asam tambang. *Jurnal Teknik Lingkungan Indonesia*, 21(1), 55–63. <https://doi.org/10.29122/jtli.v21i1.5122>
- Linggasari, S., et al. (2018). *Perhitungan soda ash untuk menetralkan air asam tambang pada penambangan bijih timah di area Nibung PT Kobatin, Provinsi Bangka Belitung* [Skripsi/Laporan, UPN Veteran Yogyakarta].
- Nasir, S., Purba, M., & Sihombing, O. (2014). Pengolahan air asam tambang dengan menggunakan membran keramik berbahan tanah liat, tepung jagung, dan serbuk besi. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(3), 22–30.
- Pratama, A. R., & Setyawan, D. (2024). Evaluasi sistem pengolahan air limbah tambang dengan metode *constructed wetlands* dalam menurunkan kadar logam berat. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 10(1), 12–20. <https://doi.org/10.21063/jtp.v10i1.342>
- Rianti, L., Maryana, & Apriyanti. (2021). Analisis efektivitas penetralan air asam tambang menggunakan kapur tohor dan soda ash dari kolam pengendapan lumpur pit tambang batubara dalam skala laboratorium. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 1(12).
- Rizaldi, T. (2006). *Mesin peralatan*. Departemen Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara.
- Said, N. I. (2014). Teknologi pengolahan air asam tambang batubara “alternatif pemilihan teknologi”. *Jurnal Air Indonesia*, 7(2), 119–128. <https://doi.org/10.29122/jai.v7i2.2411>

- Saputra, R., & Handayani, T. (2021). Studi kinetika reaksi penetralan air asam tambang menggunakan *lime stone* pada skala laboratorium. *Jurnal Rekayasa Proses*, 15(2), 88–95. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.65432>
- Wijaya, K., & Susanto, A. (2025). Optimasi penambahan kapur tohor untuk memenuhi baku mutu lingkungan pada effluent tambang batubara. *Jurnal Geologi dan Pertambangan*, 12(3), 210–222. <https://doi.org/10.14203/jgp.v12i3.8765>