

Netralisasi Air Asam Tambang Menggunakan Pengolahan Aktif dan Pasif

Esthi Kusdarini^{1*}, Putri Rizka Sania¹, dan Agus Budianto²

¹Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya; e-mail: esti@itats.ac.id

²Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya,

ABSTRAK

Air asam tambang dapat membahayakan kesehatan manusia. Tujuan penelitian mendapatkan: 1) pengaruh dosis kapur tohor terhadap pH, Fe dan Mn; 2) pengaruh ukuran butir batu gamping terhadap pH, Fe dan Mn; 3) kemampuan kapur tohor dan batu gamping dalam meningkatkan pH dan menurunkan Fe, Mn; 4) morfologi permukaan batu gamping sebelum dan setelah kontak dengan air asam tambang. Metode yang digunakan eksperimen skala laboratorium, dengan mengolah air asam tambang menggunakan: 1) kapur tohor, variabel dosis (300; 200; 100) mg/L, t waktu pengadukan 15 menit; 2) batu gamping, variabel ukuran butir (10, 5, 1) mm, waktu kontak 30 menit. Hasil penelitian: 1) semakin besar dosis kapur tohor, pH semakin meningkat; Fe, Mn semakin berkurang; 2) semakin kecil ukuran butir batu gamping, pH semakin meningkat; Fe, Mn semakin berkurang; 3) kapur tohor optimal pada dosis 200 mg/L, meningkatkan pH dari 3,31 menjadi 7,01; menurunkan Fe 99,9% dan Mn 95,84%; batu gamping optimal pada ukuran 1 mm, meningkatkan pH dari 3,31 menjadi 6,96; menurunkan Fe 99,9% dan Mn 90,65%; 4) uji foto SEM batu gamping menunjukkan adanya partikel berbentuk gumpalan putih, yang diperkirakan mineral kalsit, setelah berkontak dengan air asam tambang, partikel berbentuk gumpalan putih jumlahnya berkurang dan ukurannya mengecil.

Kata kunci: Air asam tambang, Batu gamping, Kapur tohor, Morfologi permukaan, Ukuran butir

ABSTRACT

Acid mine drainage can harm human health. The research objectives were to obtain: 1) the effect of quicklime dosage on pH, Fe and Mn; 2) the influence of limestone grain size on pH, Fe and Mn; 3) the ability of quicklime and limestone to increase pH and reduce Fe, Mn; 4) surface morphology of limestone before and after contact with acid mine drainage. The method used was a laboratory scale experiment, by processing acid mine drainage using: 1) quicklime, variable dose (300; 200; 100) mg/L, stirring time t 15 minutes; 2) limestone, variable grain size (10, 5, 1) mm, contact time 30 minutes. Research results: 1) the greater the dose of quicklime, the pH increases; Fe, Mn are decreasing; 2) the smaller the grain size of the limestone, the more the pH increases; Fe, Mn are decreasing; 3) optimal quicklime at a dose of 200 mg/L, increasing pH from 3.31 to 7.01; reduced Fe 99.9% and Mn 95.84%; optimal limestone at 1 mm size, increasing pH from 3.31 to 6.96; reduced Fe 99.9% and Mn 90.65%; 4) SEM photo tests of limestone show the presence of white lump-shaped particles, which are thought to be calcite minerals. After contact with acid mine drainage, the number of white lump-shaped particles decreases and their size decreases.

Keywords: Grain size, Limestone, Mine acid water, Quicklime, Surface morphology

Citation: Kusdarini, E., Sania, P. R., dan Budianto, A. (2024). Netralisasi Air Asam Tambang Menggunakan Pengolahan Aktif dan Pasif. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 808-815, doi:10.14710/jil.22.3.808-815

1. PENDAHULUAN

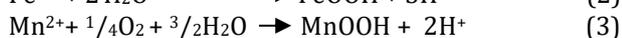
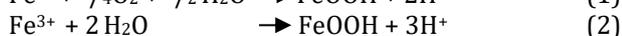
Air asam tambang merupakan air rembesan atau lindian yang dicirikan oleh pH yang rendah di bawah 6, mengandung konsentrasi logam terlarut, sulfat dan keasaman tinggi serta konsentrasi oksigen terlarut yang rendah (Hidayat, 2017). Akan tetapi, air asam tambang tidak selalu memiliki pH yang rendah, terkadang hanya mengandung konsentrasi padatan tersuspensi tinggi dengan pH mendekati netral. Air asam tambang ditimbulkan oleh batuan yang

mengandung mineral oksida yang terdedah dan teroksidasi. Reaksi oksidasi yang terjadi menyebabkan pH menurun dan sulfat meningkat, kemudian terbawa oleh aliran air yang dapat mengikis dan mengangkut logam pada batuan.

Proses penambangan batubara umumnya diterapkan menggunakan metode *strip mine* sistem tambang terbuka, mencakup pembersihan lahan; pengupasan tanah pucuk; penggalian, pemuatan dan pengangkutan tanah penutup; hingga penggalian,

pemuatan dan pengangkutan batubara (Kadafi et al., 2018), sehingga sangat rentan mineral-mineral sulfida tersebut teroksidasi dan terlarutkan oleh air yang menyebabkan terbentuknya air asam tambang. Pada kegiatan pertambangan batubara, komoditas tambang yang banyak mengandung mineral sulfida seringkali ditemukan dalam bentuk pirit (FeS_2) di lapisan batuan penutup (Widodo et al., 2019). Faktor utama yang mempengaruhi laju oksidasi pirit adalah pH larutan, katalisator, bakteri *thiobacillus*, luas permukaan, dan bentuk pirit (Gautama, 2019).

Air asam tambang dapat terbentuk melalui proses kimia maupun biologi. Reaksi kimia terjadi ketika logam-logam terlarut mengalami reaksi hidrolisis yang menghasilkan H^+ sehingga pirit mengalami reaksi oksidasi dan menghasilkan keasamaan berupa air asam tambang seperti yang disajikan pada reaksi (1), (2), dan (3) (Gautama, 2019),



Pada saat pirit bereaksi dengan oksigen dalam udara dan air, kemudian terbentuk ferrous iron (Fe^{2+}) yang teroksidasi dan berubah menjadi *ferric iron*. Akhirnya *ferric iron* terhidrolisis dan mengendap sebagai FeOOH. Saat oksidasi, terjadi proses pelapukan ion-ion hidrogen dan juga keasamaan. Aktivitas biologi oleh bakteri juga menyebabkan percepatan oksidasi pada besi dan mineral-mineral sulfida serta mendapat energi dari proses oksidasi dan hasil pelepasan energi.

Air asam tambang tidak dapat langsung dialirkan menuju badan sungai, sebab dapat menimbulkan dampak negatif yang besar bagi keberlangsungan lingkungan hidup (Mamede & Sennahati, 2023). Ramadhan dkk menghasilkan temuan bahwa air sungai berpotensi tercemar berat oleh air limbah industri (Ramadhan et al., 2023). Permasalahan yang dapat ditimbulkan akibat air asam tambang berupa menurunnya kualitas air, merusak ekosistem dan tanah karena bersifat racun, menghambat pertumbuhan makhluk hidup, dan menyebabkan korosi pada benda yang dilalui (Kusdarini & Budianto, 2022; Kusdarini et al., 2020).

Berdasarkan proses pembentukan air asam tambang yang terjadi, pengendalian dapat dilakukan melalui tindakan preventif melalui pengelolaan material disposal dengan cara meminimalisir, mencegah dan menghambat terbentuknya pemicu asam. Namun pada realitanya dalam kegiatan pertambangan, air asam tambang sangat mudah terbentuk di lokasi tambang, sehingga cukup sulit untuk dilakukan pencegahan. Sehingga dibutuhkan metode pengolahan yang efektif dalam mengatasi air asam tambang (Kasmian et al., 2018). Adapun pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi air asam tambang yaitu perlakuan aktif dan pasif.

Prinsip dari perlakuan aktif adalah dengan menambahkan agen penetralisir air asam atau bahan

kimia secara berkelanjutan pada air asam tambang (Amin & Kurniasih, 2016), Perlakuan aktif secara kinerja melibatkan reaksi oksidasi air asam tambang, penambahan alkalinitas untuk menetralsasi, dan penambahan flokulan untuk proses sedimentasi. Lizuka et al. menghasilkan temuan bahwa kapur tohor efektif untuk menetralkan air asam tambang (Lizuka et al., 2022).

Prinsip dari perlakuan pasif adalah air asam tambang dikelola melalui proses gravitasi, biologi dan geokimia, tidak membutuhkan pemantauan dan perawatan rutin seperti pada perlakuan aktif, sehingga biaya yang dibutuhkan lebih murah dan tidak memerlukan perawatan intensif. Perlakuan pasif merupakan teknik pengolahan yang banyak diterapkan dan terus mengalami peningkatan. Terdapat beberapa tindakan perlakuan pasif air asam tambang yang seringkali digunakan adalah sistem saluran batukapur terbuka, saluran batukapur anoksik, lahan basah aerobik, anaerobik, dan sistem pembentuk alkalinitas suksesif. Merchichi dkk menghasilkan temuan bahwa batu kapur fosfat mampu meningkatkan pH dari 3,08 menjadi 8,47 dan menghilangkan logam secara efisien (95,5% hingga 99,9%) (Merchichi et al., 2022). Silva et al menghasilkan temuan bahwa sistem pengolahan air asam tambang menggunakan campuran kalsit, dolomit, zeolite mampu meningkatkan pH dari 3,3 menjadi 8,2; dan menurunkan aluminium, besi, dan mangan sampai 99% (Silva et al., 2021).

Pengolahan air asam tambang, baik aktif maupun pasif dibutuhkan untuk memenuhi baku mutu lingkungan dengan menyesuaikan nilai pH, Kadar Fe dan Mn mengacu pada Kepmen LH No. 113 Tahun 2003 mengenai baku mutu air limbah dari kegiatan pertambangan batubara (Hidup, 2003). Adapun baku mutu dari masing-masing parameter satuan kadar maksimum yaitu : pH 6-9, besi (Fe) maksimum 7 mg/L, mangan (Mn) maksimum 4 mg/L, zat padat tersuspensi maksimum 400 mg/L. Sedangkan untuk daerah Kalimantan Timur mengacu pada Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur Nomor 02 Tahun 2011 dengan perbedaan pada zat padat tersuspensi maksimum 300 mg/L (Timur, 2011).

Penelitian mengenai pengolahan air asam tambang menghasilkan temuan bahwa kapur tohor dan batu gamping mampu meningkatkan pH dan menurunkan logam yang terkandung dalam air asam tambang, akan tetapi belum ada yang membandingkan kemampuan metode aktif dan pasif dalam mengolah air asam tambang. Oleh karena itu penelitian ini membandingkan pengolahan aktif dan pasif untuk mengolah satu sampel air asam tambang. Penelitian ini sangat menarik karena pengolahan aktif membutuhkan penanganan yang rutin sehingga membutuhkan tenaga dan biaya operasional yang lebih besar dibandingkan pengolahan pasif. Berdasarkan uraian di atas maka penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi operasi terbaik dari pengolahan aktif (variabel dosis kapur tohor) dan pengolahan pasif (variabel ukuran butir) dan

membandingkan kemampuan kedua metode dalam menaikkan pH dan menurunkan kandungan logam Fe dan Mn.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari – Mei 2023. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel air asam tambang (diambil dari area penambangan batubara PT. Y di Kalimantan Timur, Indonesia), kapur tohor (CaO) ukuran butir 0,074 mm dan batu gamping (CaCO₃) produksi masyarakat yang diperoleh dari toko bangunan,, aquades. Sedangkan alat yang digunakan adalah pH meter, neraca analitik, kertas saring, furnace, beaker glass, aluminum foil, corong, gelas ukur, magnetic stirrer, dan erlenmeyer.

Penelitian diawali dengan pengujian parameter pH, Fe, Mn, TSS dari sampel. Langkah selanjutnya adalah melakukan eksperimen skala laboratorium, yaitu mengolah air asam tambang menggunakan dua metode : 1) metode aktif, menambahkan kapur tohor dengan variabel dosis kapur tohor (300; 200; 100) mg/L dengan waktu pengadukan selama 15 menit, kecepatan pengadukan 150 rpm; 2) metode pasif, mengkontakkan dengan batu gamping dengan variabel ukuran butir (10, 5, 1) mm dengan waktu kontak 30 menit.

Penelitian membutuhkan beberapa pengujian, yaitu:

- a. Pengujian pH: pada metode aktif dilakukan setiap 5 menit dengan total waktu pengadukan selama 15 menit, kecepatan pengadukan 150 rpm; sedangkan pada metode pasif dilakukan setiap 10 menit dengan total waktu kontak 30 menit. menggunakan alat pH meter yang telah dikalibrasi terlebih dahulu dengan larutan buffer (penyangga) pH 4, 7, 9. Pengujian dilakukan menurut prinsip kerja SNI 6989.11: 2019 tentang Cara Uji Derajat Keasaman (pH) menggunakan pH meter.
- b. Pengujian Fe
Pengujian Fe dilakukan menurut prinsip kerja SNI 6989.4: 2009 tentang Cara uji besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).
- c. Pengujian Mn
Pengujian Mn dilakukan menurut prinsip kerja SNI 6989.5: 2009 tentang Cara uji Mangan (Mn) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa parameter sampel air asam tambang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Sampel Awal

Parameter	Kadar		Satuan
	Sampel	Baku Mutu*	
Derajat keasaman (pH)	3,31	6-9	-
Besi (Fe)	10	7	mg/L
Mangan (Mn)	21,4	4	mg/L
Zat Padat Tersuspensi (TSS)	13	300	mg/L

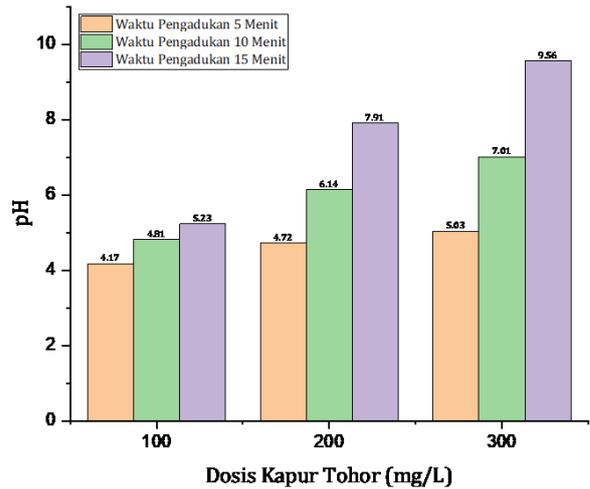
* (Timur, 2011).

Tabel 1 menunjukkan bahwa parameter pH, besi, dan Mn air asam tambang belum memenuhi

persyaratan baku mutu lingkungan perairan berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur Nomor 02 Tahun 2011 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.

3.1. Pengolahan Menggunakan Kapur Tohor

Hasil pengujian parameter air asam tambang setelah ditambahkan kapur tohor menunjukkan hubungan antara dosis kapur tohor terhadap perubahan pH (Gambar 1), kadar Fe (Gambar 2), dan kadar Mn (Gambar 3).



Gambar 1. Pengaruh dosis kapur tohor terhadap pH

Pengaruh Dosis Kapur Tohor terhadap pH

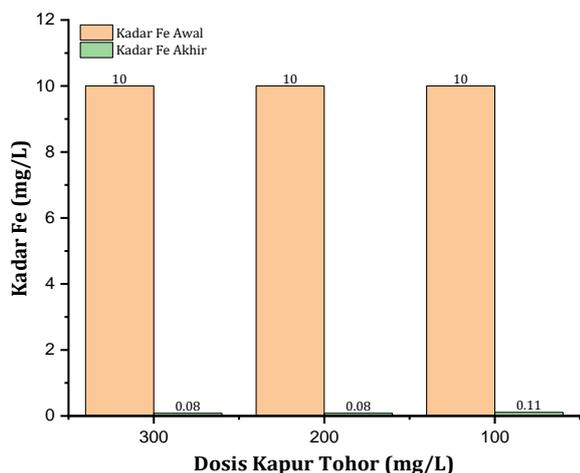
Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa terlihat adanya pengaruh antara nilai pH dengan variasi dosis kapur tohor (0,3, 0,2, 0,1) g/L berdasarkan waktu pengadukan selama (5, 10, 15) menit. Diketahui air asam tambang memiliki pH awal sebesar 3,31. Dari hasil grafik dapat diketahui bahwa nilai pH mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya dosis kapur tohor dan lama waktu pengadukan.

Bertambahnya nilai pH berkaitan dengan dosis kapur tohor dan waktu pengadukan. Kapur tohor (CaO) dapat meningkatkan nilai pH karena sifat alkali yang dimilikinya, sehingga semakin banyak kuantitas material yang digunakan untuk penetralan maka semakin banyak jumlah ion hidroksida (OH⁻) yang dihasilkan oleh kapur tohor, kemudian bereaksi dengan ion hidrogen (H⁺) yang merupakan karakteristik dari zat asam. Reaksi tersebut menghasilkan air (H₂O) dan membentuk garam netral, sehingga semakin tinggi pH yang dihasilkan.

Selain itu, semakin lama waktu reaksi yang terjadi antara kapur tohor dengan air asam tambang maka nilai pH akan meningkat. Pada saat air berkontak dengan kapur tohor, reaksi antara ion hidroksida (OH⁻) dari kapur tohor dan ion Hidrogen (H⁺) dalam air dapat meningkatkan konsentrasi ion hidroksida dan mengurangi konsentrasi ion hidrogen dalam air. Selanjutnya jika waktu kontak antara air dan kapur tohor diperpanjang, reaksi dapat terus berlanjut. Sehingga semakin lama waktu kontak, semakin

banyak ion hidroksida yang terbentuk dan dapat menyebabkan peningkatan pH yang lebih signifikan dalam air.

Penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ester Indah Sari et al., (2020) didapatkan bahwa penggunaan kapur tohor dengan dosis 0,2 g/L dapat meningkatkan perubahan nilai pH awal yang semula sebesar 3,43 meningkat menjadi 7,11 (Sari et al., 2020). Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Ignasius Nartoris et al., (2020) dapat diketahui bahwa penggunaan kapur tohor sebesar 0,2 g/L dapat meningkatkan perubahan nilai pH dari 3,25 menjadi 6,25 (Nortoris et al., 2020). Pada penelitian ini menguatkan dan menyempurnakan penelitian sebelumnya, didapatkan hasil bahwa penggunaan kapur tohor dengan dosis 0,2 g/L sudah dapat meningkatkan perubahan nilai pH dari 3,31 menjadi 7,01. Nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan standar mutu, dimana nilai pH air limbah dari kegiatan pertambangan yang baik sesuai SNI 6989.11: 2019 adalah 6 - 9.



Gambar 2. Pengaruh dosis kapur tohor terhadap Fe

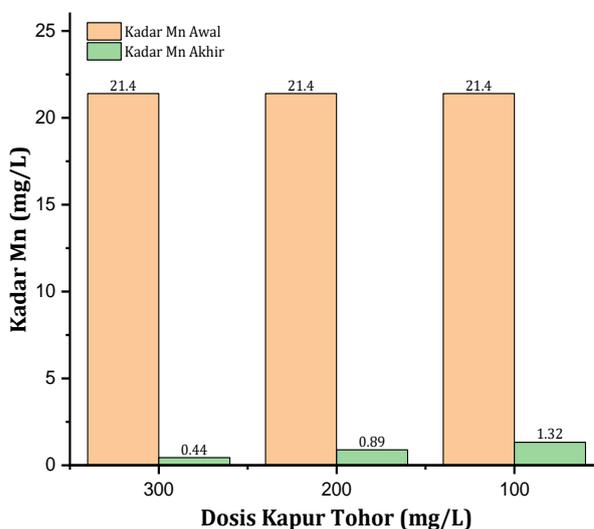
Pengaruh Dosis Kapur Tohor terhadap Fe

Dari Gambar 2. dapat diketahui bahwa terlihat adanya pengaruh antara kadar besi (Fe) dengan variasi dosis kapur tohor (0,3, 0,2, 0,1) g/L berdasarkan waktu pengadukan selama 15 menit. Diketahui nilai kadar besi (Fe) awal air asam tambang sebesar 10 mg/L. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa Kadar Fe mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya dosis kapur tohor.

Menurunnya kadar Fe berkaitan dengan dosis kapur tohor. Dengan meningkatnya dosis kapur tohor, maka jumlah kapur tohor yang tersedia untuk bereaksi dan menyerap logam besi dalam air akan bertambah dan menyebabkan penurunan yang lebih signifikan pada kadar besi (Fe). Kapur tohor menghasilkan ion hidroksida (OH⁻) yang akan bereaksi dengan ion-ion logam Fe²⁺ yang terdapat dalam bentuk terlarut dalam air asam tambang, reaksi tersebut menghasilkan endapan padat yaitu senyawa hidroksida besi. Dalam proses adsorpsi air asam

tambang, logam besi akan mengendap di dasar dan membentuk selimut lumpur (Hariyansyah, 2017). Selimut lumpur yang terbentuk dapat menyebabkan kekeruhan pada air, sehingga membutuhkan penyaringan lebih lanjut untuk menghasilkan air yang jernih.

Penelitian ini sesuai studi yang dilakukan oleh Adha et al. pada tahun 2017, yang menghasilkan temuan bahwa kapur tohor tidak hanya berfungsi untuk menetralkan pH saja, akan tetapi mampu menurunkan kadar zat besi (Fe) pada air limbah. Selain itu penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan variasi dosis kapur tohor sebesar 0,3 - 0,7 g/L dapat menurunkan kandungan logam Fe hingga 99%, dari kadar Fe 25,4 mg/L menjadi 0,0231-0,0008 mg/L (Adha et al., 2017). Selanjutnya penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Noor Wahidatul Jannah et al., (2021) didapatkan kesimpulan bahwa penggunaan variasi dosis kapur tohor sebesar 0,1 g/L dapat menurunkan kandungan logam Fe hingga 51,92%, dari kadar Fe 0,52 mg/L menjadi 0,25 mg/L (Jannah et al., 2020). Penelitian ini merupakan perbaikan atau penyempurnaan dari penelitian sebelumnya, didapatkan bahwa dengan dosis kapur tohor 0,1 - 0,3 g/L sudah dapat menurunkan kandungan logam Fe sebesar 98,9% - 99,9%, dari kadar Fe sebesar 10 mg/L menjadi 0,11 - < 0,08 mg/L. Keseluruhan hasil pengujian telah memenuhi standar mutu air limbah dari kegiatan pertambangan, dimana batas maksimum kadar besi (Fe) dalam air limbah sesuai SNI 6989.4: 2009 adalah 7 mg/L.



Gambar 3. Pengaruh dosis kapur tohor terhadap Mn

Pengaruh Dosis Kapur Tohor terhadap Mn

Dari Gambar 3. dapat diketahui bahwa terlihat adanya pengaruh antara kadar mangan (Mn) dengan variasi dosis kapur tohor (0,3, 0,2, 0,1) g/L berdasarkan waktu pengadukan selama 15 menit. Diketahui nilai kadar mangan (Mn) awal air asam tambang sebesar 21,4 mg/L. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa Kadar Mn mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya dosis kapur

tohor. Menurunnya kadar Mn berkaitan dengan dosis kapur tohor. Dengan meningkatnya dosis, maka jumlah kapur tohor yang tersedia untuk bereaksi dan menyerap logam mangan dalam air akan bertambah dan menyebabkan penurunan yang lebih signifikan pada kadar mangan (Mn).

Kapur tohor menghasilkan ion hidroksida (OH⁻) yang akan bereaksi dengan ion-ion logam Mn²⁺ yang terdapat dalam bentuk terlarut dalam air asam tambang, reaksi tersebut menghasilkan endapan padat yaitu senyawa hidroksida mangan. Dalam proses adsorpsi air asam tambang, logam mangan akan mengendap di dasar dan membentuk selimut lumpur (Hariyansyah, 2017). Selimut lumpur yang terbentuk dapat menyebabkan kekeruhan pada air, sehingga membutuhkan penyaringan lebih lanjut untuk menghasilkan air yang jernih.

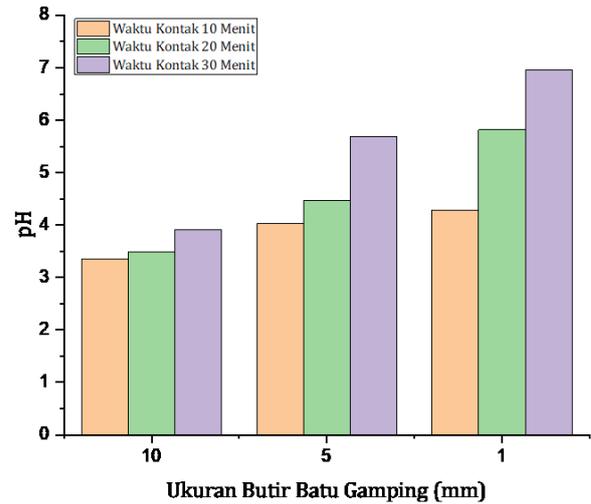
Hal ini sesuai studi yang dilakukan oleh Noor Wahidatul Jannah et al., (2021), dalam penelitian tersebut dapat diketahui bahwa kapur tohor tidak hanya berfungsi untuk menetralkan pH saja, akan tetapi mampu menurunkan kadar zat mangan (Mn) pada air limbah, selain itu dihasilkan bahwa penggunaan variasi dosis kapur tohor sebesar 0,1 g/L dapat menurunkan kandungan logam Mn hingga 68,18%, dari kadar Mn 4,4 mg/L menjadi 1,4 mg/L (Jannah et al., 2020). Selanjutnya penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Neni Saswita et al., (2017) didapatkan kesimpulan bahwa penggunaan variasi dosis kapur tohor sebesar 5 g/L dapat menurunkan kandungan logam Mn hingga 28,2%, dari kadar Mn 4,188 mg/L menjadi 3,005 mg/L (Saswita et al., 2018). Penelitian ini merupakan penyempurnaan dari penelitian sebelumnya, didapatkan bahwa dengan dosis kapur tohor 0,1 - 0,3 g/L sudah dapat menurunkan kandungan logam Mn sebesar 93,83% - 97,94%, dari kadar Mn 21,4 mg/L menjadi 1,32 - 0,44 mg/L. Keseluruhan hasil pengujian telah memenuhi standar mutu air limbah dari kegiatan pertambangan, dimana batas maksimum kadar mangan (Mn) dalam air limbah sesuai SNI 6989.5: 2009 adalah 4 mg/L.

3.2. Pengolahan Menggunakan Batu Gamping

Hasil pengujian parameter air asam tambang setelah dikontakkan dengan batu gamping menunjukkan hubungan antara dosis batu gamping terhadap perubahan pH (Gambar 4), kadar Fe (Gambar 5), dan kadar Mn (Gambar 6).

Pengaruh Ukuran Batu Gamping terhadap pH

Pada Gambar 4. dapat diketahui bahwa terlihat adanya pengaruh antara nilai pH dengan variasi ukuran butir batu gamping (10, 5, 1) mm berdasarkan waktu kontak (10, 20, 30) menit. Diketahui air asam tambang memiliki pH awal sebesar 3,31. Dari hasil grafik dapat diketahui bahwa nilai pH mengalami peningkatan seiring dengan mengecilnya ukuran butir dan semakin lama waktu kontak.

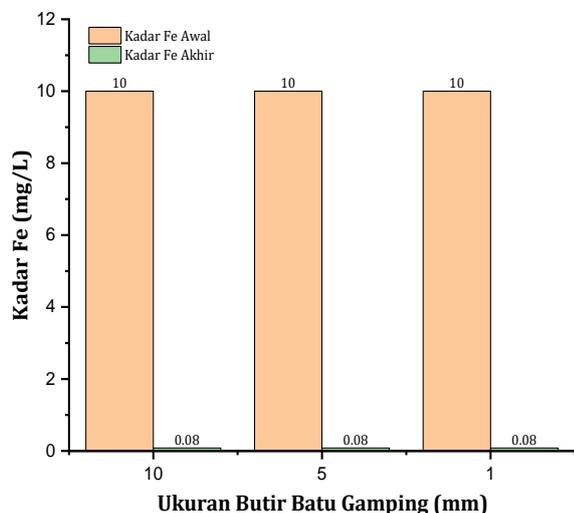


Gambar 4. Pengaruh ukuran batu gamping terhadap pH

Bertambahnya nilai pH berkaitan dengan ukuran butir batu gamping dan waktu kontak. Semakin kecil ukuran butir batu gamping atau semakin luas permukaan batu gamping yang digunakan untuk penetralan maka nilai pH yang didapatkan juga semakin tinggi, disebabkan oleh ukuran butir batu gamping yang mempengaruhi laju reaksi, dengan partikel yang lebih kecil maka reaktivitas dari kecepatan reaksi akan semakin meningkat, sehingga nilai pH akan cepat mendekati netral. Batu gamping mengandung kalsium karbonat (CaCO₃) yang merupakan senyawa basa. Ketika batu gamping terkena air asam, terjadi reaksi hidrolisis dan memecah kalsium karbonat menjadi ion kalsium (Ca²⁺) dan ion hidroksida (OH⁻). Dalam reaksi ini, ion hidroksida (OH⁻) yang dihasilkan dari hidrolisis batu gamping meningkatkan konsentrasi OH⁻ dalam larutan, sehingga meningkatkan nilai pH larutan. Selanjutnya ion kalsium (Ca²⁺) dari kalsium karbonat bergabung dengan ion sulfat (SO₄²⁻) dari asam sulfat membentuk garam kalsium sulfat yang tidak larut dalam air. Selain itu, semakin lama waktu kontak batu gamping dengan air asam, maka semakin banyak waktu bagi reaksi hidrolisis untuk terjadi. Sehingga memungkinkan lebih banyak ion hidroksida (OH⁻) yang dihasilkan, mengarah pada peningkatan konsentrasi OH⁻ dan peningkatan nilai pH larutan (Djawad & Kusuma, 2020).

Penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nurfasiha dan Ginting Jalu Kusuma (2020) diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan batu gamping berdasarkan ukuran butir dan waktu kontak selama 60 menit berhasil meningkatkan nilai pH dari 2,44 menjadi 3,40 (ukuran butir 11 mm), 6,53 (ukuran butir 7,12 mm), dan 6,51 (ukuran butir 4,05 mm) (Djawad & Kusuma, 2020). Pada penelitian ini menyempurnakan penelitian sebelumnya, didapatkan hasil bahwa penggunaan batu gamping berdasarkan ukuran butir dan waktu kontak selama 30 menit berhasil meningkatkan nilai pH dari 3,31 menjadi 4,29 (ukuran butir 10 mm), 5,82 (ukuran butir 5 mm), dan 6,96

(ukuran butir 1 mm). Dengan demikian, hasil yang diperoleh menjadi lebih optimal dengan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Nilai tersebut sudah memenuhi standar mutu air limbah dari kegiatan pertambangan, dimana nilai pH dalam air limbah yang baik sesuai SNI 6989.11: 2019 adalah 6 - 9.



Gambar 5. Pengaruh ukuran batu gamping terhadap Fe

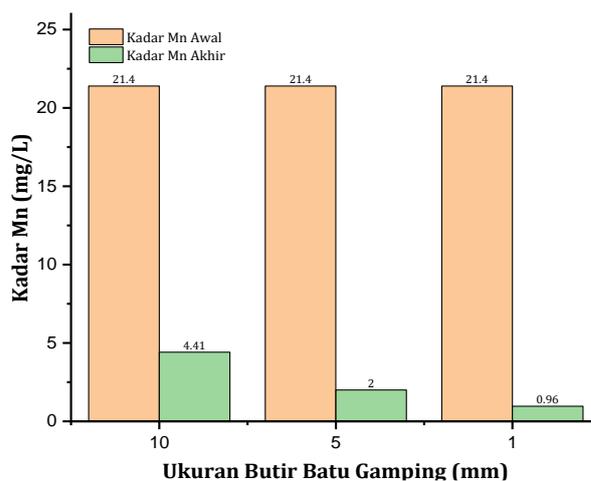
Pengaruh Ukuran Batu Gamping terhadap Fe

Pada Gambar 5. dapat diketahui bahwa terlihat adanya pengaruh antara kadar besi (Fe) dengan variasi ukuran batu gamping (10, 5, 1) mm berdasarkan waktu kontak selama 30 menit. Diketahui nilai kadar besi (Fe) awal air asam tambang sebesar 10 mg/L. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa kadar Fe mengalami penurunan seiring dengan mengecilnya ukuran butir.

Menurunnya kadar Fe berkaitan dengan ukuran butir batu gamping. Partikel batu gamping yang lebih kecil memiliki lebih banyak area permukaan yang terpapar oksigen dalam air, yang dapat bereaksi dengan besi (Fe) yang terlarut dalam air, menyebabkan oksidasi besi dari bentuk ferrous (Fe^{2+}) menjadi bentuk ferric (Fe^{3+}). Reaksi ini menyebabkan besi terlarut menjadi endapan besi hidroksida yang tidak larut. Endapan besi hidroksida yang dihasilkan dari reaksi oksidasi akan mengendap di dasar. Selain itu, luas permukaan yang lebih besar pada partikel batu gamping yang lebih kecil akan memberikan lebih banyak tempat untuk endapan besi hidroksida menempel dan mengendap. Hal ini dapat mengurangi konsentrasi besi dalam air. Dalam proses adsorpsi air asam tambang, logam besi akan mengendap di dasar dan membentuk selimut lumpur (Hariyansyah, 2017). Selimut lumpur yang terbentuk dapat menyebabkan kekeruhan pada air, sehingga membutuhkan penyaringan lebih lanjut untuk menghasilkan air yang jernih.

Hal ini sesuai studi yang dilakukan oleh Nagam Moafaq Abood et al., (2023), dalam penelitiannya dapat diketahui bahwa batu gamping tidak hanya berfungsi untuk menetralkan pH saja, akan tetapi

dapat mengurangi kadar zat besi (Fe) dalam air. Selain itu hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan batu gamping dapat menurunkan kandungan logam Fe hingga 99%, dari kadar Fe 500 mg/L menjadi 3,114 mg/L (Abood et al., 2023). Penelitian ini merupakan penyempurnaan dari penelitian sebelumnya, didapatkan bahwa penggunaan ukuran butir batu gamping sebesar 10-1 mm sudah dapat menurunkan kandungan logam Fe sebesar 99,9%, dari kadar Fe sebesar 10 mg/L menjadi <0,08 mg/L. Keseluruhan hasil pengujian telah memenuhi standar mutu air limbah dari kegiatan pertambangan, dimana batas maksimum kadar besi (Fe) dalam air limbah sesuai SNI 6989.4: 2009 adalah 7 mg/L.



Gambar 6. Pengaruh ukuran batu gamping terhadap Mn

Pengaruh Ukuran Batu Gamping terhadap Mn

Pada Gambar 6. dapat diketahui bahwa terlihat adanya pengaruh antara kadar mangan (Mn) dengan variasi ukuran batu gamping (10, 5, 1) mm berdasarkan waktu kontak selama 30 menit. Diketahui nilai kadar mangan (Mn) awal air asam tambang sebesar 21,4 mg/L. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa Kadar Mn mengalami penurunan seiring dengan mengecilnya ukuran butir batu gamping.

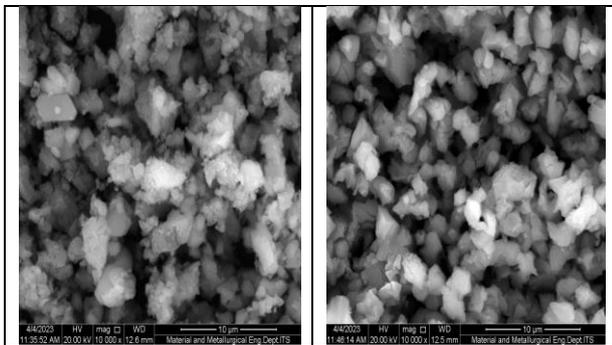
Menurunnya kadar Mn berkaitan dengan ukuran butir batu gamping. Semakin kecil ukuran butir batu gamping, permukaan kontak antara batu gamping dan air menjadi lebih besar. Permukaan yang lebih besar ini dapat meningkatkan laju reaksi antara batu gamping dan mangan yang terlarut dalam air. Ketika batu gamping terkena air yang mengandung mangan terlarut, reaksi oksidasi terjadi di permukaan batu gamping. Dalam proses oksidasi, mangan terlarut berada dalam bentuk mangan divalen (Mn^{2+}) diubah menjadi mangan tervalen (Mn^{4+}). Ion mangan tervalen kemudian bereaksi dengan ion hidroksida (OH^-) yang terdapat dalam batu gamping atau air, membentuk endapan mangan oksida yang akan mengendap di dasar. Selain itu, luas permukaan yang lebih besar pada partikel batu gamping yang lebih kecil akan memberikan lebih banyak tempat untuk endapan mangan oksida menempel dan mengendap.

Hal ini dapat mengurangi konsentrasi mangan dalam air. Dalam proses adsorpsi air asam tambang, logam mangan akan mengendap di dasar dan membentuk selimut lumpur (Hariyansyah, 2017). Selimut lumpur yang terbentuk dapat menyebabkan kekeruhan pada air, sehingga membutuhkan penyaringan lebih lanjut untuk menghasilkan air yang jernih.

Hal ini sesuai studi yang dilakukan oleh Nagam Moafaq Abood et al., (2023), dalam penelitiannya menyatakan bahwa batu gamping tidak hanya berfungsi untuk menetralkan pH saja, akan tetapi mampu menurunkan kadar mangan (Mn) pada air. Selain itu hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan batu gamping dapat menurunkan kandungan logam Mn hingga 99%, dari kadar Mn 80 mg/L menjadi 0,498 mg/L (Aryanto, 2019). Penelitian ini merupakan penyempurnaan dari penelitian sebelumnya, didapatkan bahwa variasi ukuran butir batu gamping 5-1 mm sudah dapat menurunkan kandungan logam Mn sebesar 90,65% - 95,51% dari kadar Mn sebesar 21,4 mg/L menjadi 2 - 0,96 mg/L. Hasil pengujian sebagian besar telah memenuhi standar mutu air limbah dari kegiatan pertambangan, dimana batas maksimum kadar mangan (Mn) dalam air limbah sesuai SNI 6989.5: 2009 adalah 4 mg/L.

3.3. Pengujian SEM-EDX Batu Gamping

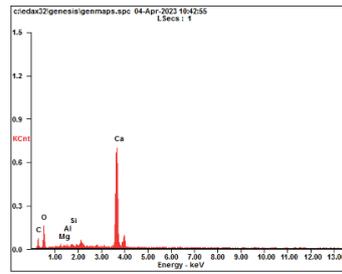
Morfologi permukaan batu gamping sebelum dan setelah digunakan untuk mengolah air asam tambang (AAT) disajikan pada Gambar 7.



(a) (b)
Gambar 7. Morfologi permukaan batu gamping: (a)sebelum kontak AAT; (b)setelah kontak AAT

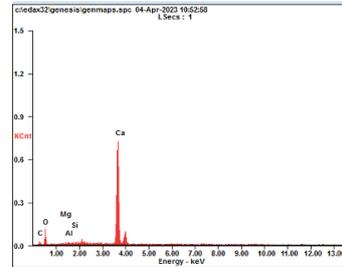
Gambar 7 menunjukkan bahwa morfologi permukaan batu gamping berupa gumpalan partikel berwarna putih yang diperkirakan kalsit dengan struktur rhombohedral. Gumpalan partikel berwarna putih ini mengalami pengecilan ukuran setelah dikontakkan dengan air asam tambang. Sedangkan komposisi unsur dalam batu gamping sebelum kontak dengan air asam tambang disajikan pada Gambar 8 dan setelah kontak dengan air asam tambang disajikan pada Gambar 9.

Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan bahwa unsur Al dan Ca dalam batu gamping komposisinya meningkat setelah berkontak dengan air asam tambang. Hal ini disebabkan menurunnya komposisi unsur C, O, Mg, dan Si.



Element	Wt%	At%
CK	04.59	08.98
OK	38.57	56.68
MgK	01.24	01.20
AlK	00.96	00.84
SiK	00.99	00.82
CaK	53.65	31.47
Matrix	Correction	ZAF

Gambar 8. Komposisi unsur C, O, Mg, Al, Si, Ca batu gamping sebelum kontak AAT



Element	Wt%	At%
CK	01.30	02.84
OK	31.87	52.32
MgK	01.16	01.26
AlK	01.11	01.08
SiK	00.73	00.68
CaK	63.83	41.82
Matrix	Correction	ZAF

Gambar 9. Komposisi unsur C, O, Mg, Al, Si, Ca batu gamping setelah kontak AAT

4. KESIMPULAN

Peningkatan dosis kapur tohor pada air asam tambang menaikkan nilai pH dan kadar Fe, serta menurunkan kadar Mn. Semakin kecil ukuran butir batu gamping maka nilai pH akan meningkat, dan kadar Fe, Mn akan menurun. Penggunaan batu gamping pada saluran terbuka untuk pengolahan pasif air asam tambang merupakan pilihan metode yang dapat menetralkan air asam tambang dengan kemampuan yang tidak jauh berbeda dengan kapur tohor.

DAFTAR PUSTAKA

Abood, N. M., Flayh, E. K., Saeed, L. S., & Abdulkareem, M. A. 2023. Removal of Iron(III) and Manganese(II) from polluted solutions using natural limestone (cost effective adsorbent). *Results in Chemistry*. 5(March), 100921. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.100921>

Adha, C. W., Muhammad, R., & Thamrin, M. 2017. Analisis Efektivitas Kapur Tohor dan Zeolit Untuk Peningkatan pH dan Penurunan Kandungan Logam Fe dan Cu Pada Pengolahan Air Asam Tambang. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi*. IV: 43-51.

Amin, M., & Kurniasih, A. 2016. Pengaruh Ukuran dan Waktu Kalsinasi Batu Kapur Terhadap Tingkat Perolehan Kadar CaO. *Seminar Nasional Sains Matematika Informatika Dan Aplikasinya*. IV(4): 74-82.

Aryanto, R. 2019. Kajian Pengelolaan Air Asam Tambang Dengan Menggunakan Metode Aerobic Wetland Dan Pengaruhnya Terhadap Baku Mutu Air Pada Site Lati Pt. Berau Coal. *Thesis*. pp. 1-10. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28016.40960/1>

Djawad, N. A., & Kusuma, G. J. 2020. Simulasi Pengolahan Air Asam Tambang Menggunakan Open Limestone Channel Skala Laboratorium. *Jurnal Geomine*. 8(1): 32-43. <https://doi.org/10.33536/jg.v8i1.418>

Gautama, P. D. I. R. S. 2019. *Pembentukan, Pengendalian dan Pengelolaan Air Asam Tambang* (2nd ed.; Edi

- Kusdarini, E., Sania, P. R., dan Budianto, A. (2024). Netralisasi Air Asam Tambang Menggunakan Pengolahan Aktif dan Pasif. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 808-815, doi:10.14710/jil.22.3.808-815
- Warsidi, Ed.). Bandung: ITB Press.
- Hariyansyah, F. 2017. Penurunan Kadar Logam (Fe dan Mn) dalam Air Asam Tambang PT Bukit Asam Menggunakan Fly Ash Batubara Sebagai Adsorben (Adsorpsi Isoterm Langmuir dan Freundlich).
- Hidayat, L. 2017. Pengelolaan Lingkungan Areal Tambang Batubara (Studi Kasus Pengelolaan Air Asam Tambang (Acid Mining Drainage) di PT. Bumi Rantau. *Jurnal ADHUM*. 7(1): 44-52.
- Hidup, K. L. 2003. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batu Bara*.
- Iizuka, A., Ho, H.-J., Sasaki, T., Yoshida, H., Hayakawa, Y., & Yamasaki, A. 2022. Comparative study of acid mine drainage neutralization by calcium hydroxide and concrete sludge-derived material Author. *Minerals Engineering*. 188. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107819>
- Jannah, N. W., Triantoro, A., & Riswan, R. 2020. Analisis Pengaruh Fly Ash Dan Kapur Tohor Pada Netralisasi Air Skala Laboratorium Di Pt Jorong Barutama Greston. *Jurnal Himasapta*. 5(1): 1-4. <https://doi.org/10.20527/jhs.v5i1.2044>
- Kadafi, M. T., Arief, A. T., Iskandar, H., & Pertambangan, J. T. 2018. Analisis Teknis Sistem Penanganan Dan Pemanfaatan Air Asam Tambang Di Wiup Tambang Air Laya (Tal) Pt. Bukit Asam (Persero) Tbk. Tanjung Enim Sumatera Selatan. *Jp*, 2(2): 54-62.
- Kasmian, Widodo, S., & Bakri, H. 2018. Analisis Potensi Air Asam Tambang Pada Batuan. *Jurnal Geomine*. 6(3): 138-144.
- Kusdarini, E., & Budianto, A. 2022. Characteristics and Adsorption Test of Activated Carbon from Indonesian Bituminous Coal. *Journal of Ecological Engineering*. 23(10): 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.12911/22998993/152343>
- Kusdarini, E., Yanuwadi, B., Hakim, L., & Suyadi, S. 2020. Adoption Model of Water Filter by The Society of Lake Water Users in Dry Land Area, Gresik, East Java, Indonesia. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. 10(5): 2089-2096.
- Mamede, M., & Sennahati. 2023. Analisis Air Asam Tambang untuk Mengurangi Kadar Sulfur. *Cokroaminoto Journal of Chemical Science*. 5(1): 15-19.
- Merchichi, A., Hamou, M. O., Edahbi, M., Bobocioiu, E., Neculita, C. M., & Benzaazoua, M. 2022. Passive treatment of acid mine drainage from the Sidi-Kamber mine wastes (Mediterranean coastline, Algeria) using neighbouring phosphate material from the Djebel Onk mine. *Science of The Total Environment*. 807(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151002>
- Nortoris, I., Adnyano, A. A., & Sumarjono, E. 2020. Kajian Teknis Pencegahan Dan Penanganan Air Asam Tambang. *Mining Insight*. 01(02): 203-210.
- Ramadhan, A. W. W., Safitri, F. E., Khairunnisa, H., Pramitasari, T. A., Sholiqin, M., & Rachmawati, S. 2023. Dampak Tingkat Cemar Sungai Jenes Terhadap Kualitas Air Tanah Warga di Kelurahan Joyotakan, Kecamatan Serengan, Surakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 21(2): 318-328.
- Sari, E. I., Tono, E. P. S. B. T., & Guskarnali. 2020. Studi Penggunaan Kapur Tohor Dalam Proses Penetralkan Air Asam Tambang Di KPL Pit 3 Barat IUP Tambang Banko Barat PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan (Study of the Use of Quicklime in the Mine Acid Water Neutral Process at Pit KPL 3 West Banko. *Mineral*. 3(2): 1-6.
- Saswita, N., Sulistiyani, & Setiani, O. 2018. Penggunaan Kapur Tohor (Cao) Dalam Penurunan Kadar Logam Fe Dan Mn Pada Limbah Cair Pewarnaan Ulang Jeans Kabupaten Magelang Tahun 2017. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*. 6(1): 662-669.
- Silva, D., Weber, C., & Oliveira, C. 2021. Neutralization and uptake of pollutant cations from acid mine drainage (amd) using limestones and zeolites in a pilot-scale passive treatment system. *Minerals Engineering*, pp 170. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107000>
- Timur, P. D. P. K. 2011. *Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur Nomor 02 Tahun 2011 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*.
- Widodo, S., Budiman, A. A., Asmiani, N., & Jafar, N. 2019. Karakterisasi Mineral Pirit Pada Batubara Berdasarkan Hasil Analisis Mikroskopi , Proksimat , Total Sulfur , Dan Difraksi Sinar X: Potensi Terjadinya Air Asam Tambang. *Jurnal GEOSPAL*. 5(2): 121-126.