

DETEKSI UNSUR LOGAM DENGAN XRF DAN ANALISIS MIKROBA PADA LIMBAH AIR ASAM TAMBANG DARI PERTAMBANGAN DI LAMURU - KABUPATEN BONE

Fahrudin Fahrudin*, Nur Haedar, As'adi Abdullah, Abdul Wahab, Rifaat

¹Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia.

*Corresponding author. Email: fahrudin_science@unhas.ac.id

Manuscript received: 5 October 2019; Received in revised form: 29 December 2019; Accepted: 2 January 2020

Abstrak

Perkembangan industri pertambangan di Indonesia semakin pesat, seperti pertambangan batu bara yang ada di Lamuru Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan. Tentu hal ini menimbulkan masalah pencemaran lingkungan oleh adanya limbah pertambangan, salah satunya adalah limbah air asam tambang (AAT). Tujuan penelitian adalah deteksi kandungan logam berat dan analisis mikrobiologi pada air asam tambang. Deteksi kandungan logam berat menggunakan *X-ray Fluorescence* (XRF), analisis sulfat dengan metode spektrofotometer 430 nm, pH dengan pH meter dan analisis mikrobiologi menggunakan metode *plate count*. Hasilnya, terdeteksi adanya logam berat, yang paling dominan adalah Fe 56,29 %, diikuti Mn 1,36%, Nb 0,50% dan Ti 0,47%. Kandungan sulfat 6,2 ppm dan pH 3,7. Pada pengamatan mikrobiologis diperoleh bakteri pereduksi sulfat $18,7 \times 10^4/\text{ml}$ dan jumlah total mikroba adalah $67,5 \times 10^4/\text{ml}$.

Kata kunci: air asam tambang; logam; sulfat.

Abstract

The development of the mining industry in Indonesia is growing rapidly, such as coal mining in Lamuru, Bone Regency, South Sulawesi. This will cause problems of environmental pollution by the presence of mining waste, one of which is acid mine drainage (AMW). The research objective is the detection of heavy metal content and microbiological analysis of acid mine drainage. Detection of heavy metal content using X-ray fluorescence (XRF), sulfate analysis using spectrophotometer method with wavelength of 430 nm, pH with a pH meter and microbiological analysis using the plate count method. As a result, heavy metals were detected, the most dominant being Fe 56.29%, followed by Mn 1.36%, Nb 0.50%, and Ti 0.47%. Sulfate content of 6.2 ppm and pH of 3.7. On microbiological observations obtained sulfate reducing bacteria of $18.7 \times 10^4/\text{mL}$ and the total number of microbes of $67.5 \times 10^4/\text{mL}$.

Keywords : acid mine water; metal; sulfate.

Pendahuluan

Negara Indonesia mempunyai berbagai macam industri termasuk salah satunya adalah pertambangan yang berkembang pesat, karena Indonesia memiliki potensi alam sebagai lahan pertambangan. PT. Freeport di Irian Jaya merupakan salah satu

industri pertambangan yang besar yang ada di Indonesia. Namun persoalan mendasar dari kegiatan pertambangan ini adalah adanya batuan limbah dan tailing yang dihasilkan dapat mencemari lingkungan (Saviour, 2012).

Air asam tambang (AAT) merupakan salah satu limbah tambang yang mengganggu lingkungan dihasilkan dari industri pertambangan. Limbah ini berbahaya karena bersifat memiliki pH rendah sekitar 3 – 4 sehingga bersifat asam, oleh adanya kandungan sulfat yang tinggi yang berasal dari oksidasi pirit yang mengandung sulfida sehingga menghasilkan asam sulfat (Fahrudin, 2018).

Sulfat dalam konsentrasi 250 mg/l pada air merupakan komponen utama yang akan menimbulkan masalah keasaman dan melarutkan logam berat yang sangat berbahaya bagi kehidupan dan kelestarian lingkungan. AAT menjadi masalah jika masuk pada badan air, jika dikonsumsi manusia dapat memengaruhi kesehatan. Nilai pH sangat rendah dan bersifat asam sehingga melarutkan logam berat dengan tingkat toksisitas yang tinggi seperti logam tembaga (Cu), timbal (Pb), besi (Fe), kadmium (Cd), kobalt (Co), dan logam berat lainnya (Fahrudin dan As'adi 2018).

AAT yang bersifat asam dapat membentuk logam – logam berat menjadi reaktif sebagai ionnya. Hal ini akan memicu terjadinya pencemaran logam berat pada lingkungan, terutama di lingkungan perairan. Akibatnya menyebabkan asam dan timbul sejumlah logam berat pada lingkungan tersebut yang berpengaruh pada kehidupan organisme. Hal ini terkait dengan siklus biogeokimia di alam (Burgos et al., 2012).

Pencegahan terbentuknya air asam tambang dapat dilakukan dengan mengupayakan tidak adanya kontak antara pirit dengan oksigen dan air, serta mencegah pertumbuhan *Thiobacillus ferroxidans* yang dilakukan melalui penggunaan bahan kimia. Asam sulfat 5 – 6 ppm yang ada menyebabkan nilai pH turun secara drastis dan akan stabil kembali pada nilai antara 2,5 – 3,0. Sifat asam inilah yang dapat memicu kelarutan pada beberapa jenis logam pada AAT, bila tidak segera

ditanggulangi akan menimbulkan dampak pada perairan atau pun pada tanah yaitu terjadinya pengasaman oleh asam sulfat dan terlarutnya logam berat (Patel, 2010).

Menurut Compeau dan Bartha (1985), penanggulangan AAT pada zaman sekarang ini terus dilakukan dengan berbagai metode. Penanggulangan AAT dengan metode kimia dianggap tidak efisien karena dapat menimbulkan zat pencemar yang baru. Oleh karena itu, penanggulangan AAT secara biologis dapat menggunakan teknik bioremediasi. Bioremediasi terhadap logam berat merupakan transformasi melalui reaksi – reaksi reduksi, metilasi, dan dimetilasi oleh mikroorganisme seperti bakteri pereduksi sulfat (BPS).

Kelompok BPS tumbuh dengan baik pada anaerob dan mampu hidup pada pH 2 sampai pH 9, tetapi optimalnya tumbuh pada pH 7. BPS ini dapat tumbuh hampir pada semua lingkungan, terutama yang banyak mengandung material organik dengan kondisi anaerob. Asam sulfat akan direduksi mejadi gas H₂S dan H₂O, kemudian akan bereaksi dengan Fe menghasilkan FeS dan Fe(OH)₂ (Burgos et al., 2012).

Salah satu pertambangan yang ada di Indonesia adalah pertambangan batu bara yang ada di Lamuru, Kabupaten Bone. Kehadirannya memberikan dampak pada lahan pertanian penduduk sekitarnya, akibat dari limbah yang dihasilkan, termasuk AAT (Gunawan, 2012). Berdasarkan dari uraian tersebut, maka dilakukan karakterisasi AAT dari Pertambangan Lamuru Kabupaten Bone untuk memastikan adanya logam berat yang terkandung serta analisis jumlah bakteri yang tumbuh dalam AAT.

Metode Penelitian

1. Karakterisasi Fisik

Karakterisasi fisik dilakukan pada air asam tambang adalah warna atau tingkat kekeruhan melalui pengamatan visual secara langsung

2. Pengukuran Kadar Logam Berat dengan XRF

Jenis XRF yang dipakai untuk analisis logam pada air asam tambang adalah menggunakan jenis *energy dispersive system* (EDXRF). Untuk analisis bahan digunakan spektrometer XRF yang dilengkapi sistem pengolah data (DX-4). Preparasi sampel dilakukan sebelum analisis pada sampel. Prosedurnya, memvakum *sample chamber* untuk mengkondisikan peralatan serta kalibrasi energi dilakukan. Alat spektrometer XRF siap digunakan untuk pengukuran bila kevakuman dalam *sample chamber* sudah mencapai 300 miliTorr (setara dengan 0,4 miliBar). Menggunakan standar aluminium untuk kalibrasi energi dalam tegangan 14 kV dan kuat arus 100 μ A serta *input count rate* yaitu 10000 cps (*count per second*). Berikutnya dikalibrasi pengukuran untuk bahan standar yang sebelumnya dilakukan kalibrasi energi.

3. Pengukuran pH

Menyiapkan *buffer* pH 7 untuk kalibrasi pH meter, kemudian distabilkan 15 – 30 menit untuk aktifkan. Dibilas elektroda dengan akuades. Dichelupkan elektroda pada sampel sampai beberapa saat, hingga diperoleh tera untuk pembacaan yang stabil, diperoleh nilai pH yang tertera di pH meter.

4. Pengukuran Kadar Sulfat

Kadar kandungan sulfat ditentukan secara turbidimetri. Penambahan barium klorida pada larutan yang mengandung sulfat. Larutan *conditioning* dengan komposisi adalah 0,85 ml gliserol, 0,5 ml HCl, 1,3 g NaCl, 17 ml etanol dan 1000 ml akuades 0,9 ml ditambahkan 0,1 mL sampel standar, selanjutnya ditambahkan BaCl₂.

Selanjutnya larutan dihomogenkan dengan vorteks 1 menit sehingga BaSO₄ menjadi koloid dan larutan menjadi keruh. Selanjutnya, absorban larutan diukur pada panjang gelombang 430 nm pada spektrofotometer.

5. Menghitung Total Mikroba dengan Metode *Standard Plate Count*

Sampel AAT dilakukan pengenceran secara bertingkat, dengan menambahkan akuades steril pada sampel. Berikutnya, diambil 1 ml sampel AAT sehingga mencapai pengenceran 10⁻³, 10⁻⁴ dan 10⁻⁵. Selanjutnya diinokulasikan pada cawan petri yang di dalamnya terdapat medium Nutrien Agar. Diinkubasi selama pada suhu 37 °C selama 24 – 48 jam, dihitung jumlah koloni mikroba yang tumbuh.

6. Penentuan Jumlah BPS

Isolasi BPS dilakukan menggunakan metode *plate* (Nancucheo dan Johnson, 2011) dengan menggunakan media cair *Postgate B*. Media diatur pada pH 4 asam sulfat ditambahkan sebelum dilakukan sterilisasi. Berubahnya media menjadi warna hitam adalah indikator terbentuknya senyawa sulfida, sebagai bukti adanya tumbuh BPS.

Hasil dan Pembahasan

1. Karakteristik Fisik AAT



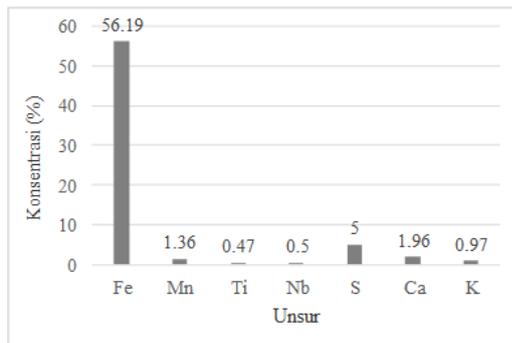
Gambar 1. Karakteristik fisik secara visual pada limbah AAT.

Karakterisasi AAT secara fisik memiliki ciri berwarna coklat kekuningan yang bening, tidak memperlihatkan adanya

kekeruhan, seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Hal ini menunjukkan bahwa sumber AAT dari industri Pertambangan Lamuru Kabupaten Bone muncul bukan dalam bentuk air yang berlumpur atau genangan air berupa rawa, tetapi muncul dari bebatuan yang relatif kurang mengandung tanah.

2. Analisis logam AAT dengan XRF

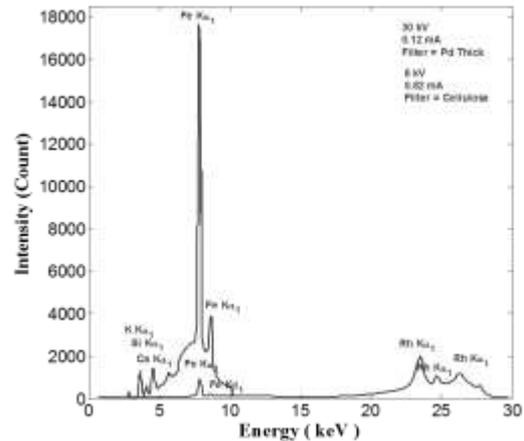
Berdasarkan hasil analisis kandungan logam berat pada AAT menggunakan *X-ray Fluorescence* (XRF), diperoleh logam berat yang paling dominan adalah besi Fe dalam bentuk senyawa Fe_2O_3 yaitu 80,34%, kemudian diikuti unsur mangan (Mn) yaitu 1,76%. Di samping itu, juga terdeteksi adanya unsur lain dari hasil XRF meliputi sulfur (S), kalsium (Ca) dan kalium (K). Secara lengkap pada Gambar 2. Hasil analisis XRF diidentifikasi jenis unsur yang terdeteksi oleh sinar X berupa unsur Fe, Mn, Ti dan Nb dengan nilai konsentrasi yang bervariasi dalam bentuk persentasi dari sampel yang diuji.



Gambar 2. Kandungan unsur kimia pada AAT melalui analisis XRF.

Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa AAT di dalamnya mengandung 7 unsur seluruhnya yaitu terdapat 5 logam. Hasil pengukuran analisis menggunakan spektrometer XRF memberikan hasil spektrum berupa *peak* atau puncak seperti pada Gambar 3., diperlihatkan unsur dominan yang terdapat dalam AAT adalah Fe sumbu-X adalah energi berkarakteristik sinar-X, demikian pula pada sumbu-Y merupakan nilai intensitas unsur yang

dihitung dalam detik (Jamaluddin dan Umar, 2018). Menurut Rosika dkk. (2007), bahwa analisis XRF digunakan untuk mengidentifikasi kandungan kimia dari sampel AAT yang memberikan spektrum sebagai bukti hubungan antara intensitas dengan energi. Spektrum yang diproduksi oleh XRF bersumber dari penembakan elektron pada target. Hal ini menjadikan atom – atom dalam sampel AAT mengalami ionisasi. Mekanisme ini akan membuat atom – atom sampel berada dalam keadaan kondisi yang stabil dengan jumlah proton yang sama dengan orbital elektron, berikutnya elektron pada sampel akan mengalami eksitasi (Jamaluddin dan Umar, 2018).



Gambar 3. Hasil spektrum dari analisis setiap unsur pada AAT menggunakan spektrometer XRF.

3. Konsetrasi Sulfat dan nilai pH AAT

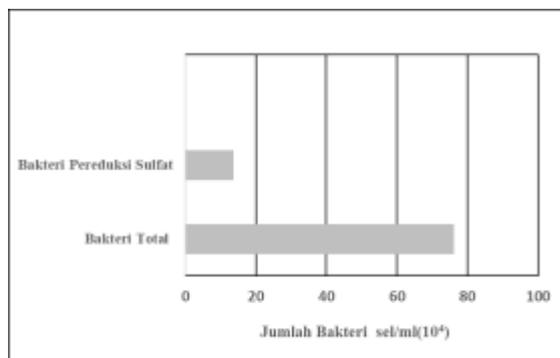
Nilai pH pada sampel AAT adalah 3,7. Hal ini terkait dengan kandungan sulfat pada AAT yang diperoleh adalah 6,2 ppm. Hal ini sesuai hasil penelitian Fahrudin (2010), terdapat kandungan sulfat 5.7 ppm dalam AAT yang terbentuk dari hasil dari oksidasi senyawa besi sulfur, seperti pirit dan pirotit oleh adanya oksidator seperti H_2O , O_2 dan CO_2 melalui katalis bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan *output* lain sebagai hasil dari reaksi oksidasi. Asam sulfat merupakan hasil antara yang terjadi dari oksidasi yang sangat berperan pada turunnya nilai Ph. Ion – ion logam akan larut oleh adanya asam sulfat yang

memiliki pH 2,5 hingga 3,5 (Elliot et al., 1998).

Mekanisme terbentuknya AAT adalah hasil dari reaksi terbentuknya H^+ sebagai ion penghasil asam akibat oksidasi sulfida dan bereaksi dengan H_2O , selanjutnya oksidasi dari Fe^{2+} hidrolisis Fe^{3+} dan pengendapan logam hidroksida. Mekanisme ini melalui rekasi kimia, sedangkan secara biologi terjadi AAT karena oleh adanya mikroorganisme yang mampu untuk meningkatkan proses dari oksida sulfida dan oksida besi (Lu et al., 2010).

4. Pertumbuhan BPS dan Total Bakteri

Berdasarkan hasil pengamatan adanya bakteri heterotrof sebagai bakteri total dan bakteri pereduksi sulfat (BPS) diperoleh jumlah BPS adalah $18,7 \times 10^4/ml$ dan jumlah bakteri total adalah $67,5 \times 10^4/ml$ seperti ditampilkan pada Gambar 4. Jumlah total mikroba menunjukkan bahwa bakteri yang memiliki kemampuan melakukan reduksi sulfat membentuk sulfida yaitu jenis bakteri pereduksi sulfat (BPS) yang bersumber dari tanah atau partikel bebatuan yang merupakan sumber *inoculum* yang terus mengalami pertambahan jumlah sel karena lingkungan yang tidak stabil secara fisiologi, Tetapi hal ini justru menjadi lingkungan yang mendukung pertumbuhannya (Elliot et al., 1998).

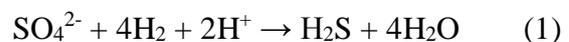


Gambar 4. Jumlah total mikroba dan jumlah BPS pada AAT.

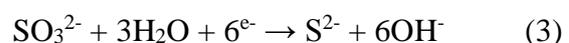
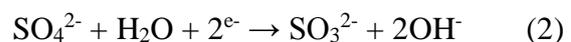
Menurut Lu et al. (2010), terjadinya reduksi sulfat sebagai bagian dari mekanisme metabolisme yang sering dilakukan oleh

BPS. Kelompok bakteri – bakteri pereduksi sulfat secara luas terdapat pada kondisi lingkungan asam yang tinggi berperan mereduksi kandungan sulfat. Sulfat digunakan oleh bakteri pereduksi sulfat untuk akseptor elektron yang berguna untuk aktifitas metabolismenya (Gaikwad et al., 2011). BPS dikenal sebagai sulfidogen, memiliki karakteristik dalam kapasitas transfer elektron atau hidrogen pada sulfat yang bertindak untuk penerima eletron terakhir. Sulfat tereduksi menjadi sulfida terjadi melalui reaksi redoks dalam kondisi tanpa adanya oksigen atau anaerob. Hal ini sejenis dengan respirasi dengan adanya oksigen sebagai akseptor elektron yang terjadi pada situasi yang aerob, dikenal sebagai proses respirasi sulfat (Dilling dan Cypionka, 1990).

BPS melakukan reduksi dengan memanfaatkan sulfat untuk sumber energi yaitu bertindak penerima elektron dan memanfaatkan materi organik untuk sumber karbon (C) yang berguna selain sebagai pemberi (donor) elektron dalam metabolisme juga merupakan bahan penyusun selnya. BPS menggunakan donor elektron H_2 dan sumber karbon yang diambil dari bahan organik. Reaksi reduksi sulfat oleh BPS menurut Elliot et al. (1998) adalah sebagai berikut:



Dalam situasi tanpa oksigen (anaerob) materi organik akan bertindak sebagai pemberi atau donor elektron. Ketika SO_4 menerima elektron dari senyawa organik kemudian akan terjadi reduksi menghasilkan sulfida, reaksinya sebagai berikut:



Kesimpulan

Kesimpulan dari kegiatan penelitian ini dapat dituliskan sebagai berikut. Pertama,

hasil identifikasi unsur menggunakan uji XRF menunjukkan bahwa AAT terdapat jenis logam yang terdeteksi adalah Fe 56,29%, Mn 1,36%, Ti 0,47%, dan Nb 0,50%. Teridentifikasi pula adanya unsur S 5%, Ca 1,96% dan K 0,97 %. Kedua, analisis sulfat dan analisis pH pada AAT diperoleh kandungan sulfat 6,2 ppm dan pH 3,7. Ketiga, uji mikrobiologis ditemukan jumlah bakteri pereduksi sulfat adalah $18,7 \times 10^4$ /ml dan jumlah total mikroba adalah $67,5 \times 10^4$ /ml.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Pimpinan LP2M, Universitas Hasanuddin, atas dukungan finansial pada penelitian ini, melalui hibah penelitian Internal Unhas.

Daftar Pustaka

- Burgos, W.D., Borch, T., Troyer, L.D., Luan, F., Larson, L.N., Brown, J.F., Lambson, J. and Shimizu, M. 2012. *Schwertmannite and Fe oxides formed by biological low-pH Fe(II) oxidation versus abiotic neutralization: impact on trace metal sequestration*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 76, pp.29-44.
- Compeau, G.C. and Bartha, R. 1985. *Sulfate-reducing bacteria: principal methylators of mercury in anoxic estuarine sediment*. *Applied and Environmental Microbiology*. 5(2), pp.498-502.
- Dilling, W. and Cypionka, H. 1990. *Aerobic respiration in sulfate-reducing bacteria*. *FEMS Microbiology Letter*. 71(1-2), pp.123-128.
- Elliot, P., Ragusa, S. and Catcheside, D. 1998. *Growth of sulfate-reducing bacteria under acidic conditions in an upflow anaerobic bioreactor as a treatment system for acid mine drainage*. *Water Research*. 32(12), pp.3724-3730.
- Fahrudin and As'adi, A. 2018. *Population analysis of bacteria on acid mine water with mangrove sediment treatment*. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*. 17 (9), pp.70-75.
- Fahrudin. 2010. *Bioteknologi Lingkungan*. Bandung: Alfabeta.
- Fahrudin. 2018. *Pengolahan limbah pertambangan secara biologis*. Makassar: Celebes Media Perkasa.
- Gaikwad, R.W., Sapkal, V.S. and Sapkal R.S. 2011. *Acid mine drainage: a water pollution issue in mining industry*. *International Journal of Advanced Engineering Technology*. 2 (4), pp. 257-262.
- Gunawan, H. 2012. Warga Lamuru tuntutan izin tambang batubara dicabut. *Tribun Timur*. [<https://www.tribunnews.com>]
- Jamaluddin dan Umar, E. P. 2018. *Identifikasi kandungan unsur logam batuan menggunakan metode XRF (x-ray fluorescence) (Studi kasus: Kabupaten Buton)*. *Jurnal Geocelebes*. 2(2), pp.47-52.
- Lu, S., Gischkat, S., Reiche, Akob, D.M., Hallberg, K.B. and Küsel, K. 2010. *Ecophysiology of Fe-Cycling Bacteria in Acidic Sediments*. *Applied and Environmental Microbiology*. 76(24), pp.8174-8183.
- Ñancucheo, I. and Johnson, D.B. 2011. *Significance of Microbial Communities and Interactions in Safeguarding Reactive Mine Tailings by Ecological Engineering*. *Applied and Environmental Microbiology*. 77(23), pp.8201-8208.
- Patel, A. K. 2010. *Isolation and characterization of Thiobacillus ferrooxidans from coal acid mine drainage*. *International Journal of Applied Agricultural Research*. 5(1), pp.73-85.
- Rosika, K., Dian, A. dan Djoko, K. 2007. *Pengujian kemampuan XRF untuk analisis komposisi unsur paduan Zr-Sn-Cr-Fe-Ni*. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, 17-18 Juli 2007*. Bandung: PTNBR – BATA, pp 161-166.

Saviour, N.M. 2012. *Environmental impact of soil and sand mining: a review*. International Journal of Science, Environment and Technology. 1(3), pp.125-134.