

## Cadmium (Cd) Resistance of Isolate Bacteria from Poboya Gold Mining in Palu, Central Sulawesi

Fahrudin<sup>1\*</sup>, Syahrudin Kasim<sup>2</sup>, Eka Umami Rahayu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia;

<sup>2</sup>Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

### Article History

Received : August 05<sup>th</sup>, 2020

Revised : August 12<sup>th</sup>, 2020

Accepted : August 15<sup>th</sup>, 2020

Published : August 16<sup>th</sup>, 2020

\*Corresponding Author:

**Fahrudin,**

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

Email:

[fahrudin\\_science@unhas.ac.id](mailto:fahrudin_science@unhas.ac.id)

**Abstract:** The mining industry in Indonesia is growing rapidly, giving an environmental impact from the waste produced because it contains dangerous heavy metals, one of which is cadmium metal (Cd). The purpose to know the ability of cadmium resistance in bacterial isolates. Bacterial isolates were obtained from soil samples from the Poboya Gold Mine field, Palu. Bacterial isolation and selection were carried out by the plate count method, resistance testing using nutrient broth media containing heavy metals Cd, analysis of Cd concentrations using atomic absorption spectrophotometers. From the results of the study, four types of Cd resistant isolates were obtained based on macroscopic and microscopic characterization results, namely isolates EK1, EK2, EK3 and EK4. The two best isolates of Cd resistance, EK2 and EK4 isolates were tested on media containing 20 ppm Cd, showing that both of these isolates were able to significantly reduce Cd concentrations in the supernatant and pellets.

**Keywords:** resistance; bacterial colonies; cadmium; resistant bacteria

### Pendahuluan

Kemajuan industri pertambangan di Indonesia memiliki dampak positif yaitu peningkatan ekonomi, kesejahteraan rakyat dan penyerapan tenaga kerja, namun demikian kemajuan pertambangan juga memberikan konsekuensi oleh adanya berbagai jenis limbah yang dihasilkan, berakibat pada pencemaran lingkungan (Widyati, 2007; Fahrudin *et al.* 2018). Hal ini berkontribusi besar bagi kerusakan lingkungan karena limbah pertambangan dibuang tidak terkontrol, dan masuk ke sungai, hutan, estuari dan wilayah pantai. Hal ini menimbulkan pengendapan sedimen, kandungan limbah logam berbahaya (Gaikwad *et al.*, 2011; Rinasari *et al.*, 2019).

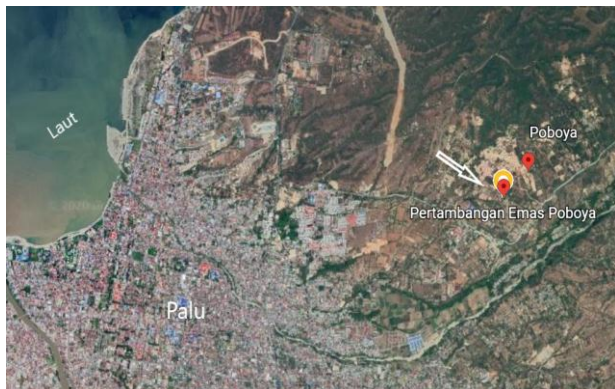
Kegiatan pertambangan memberikan dampak pada lingkungan, karena batuan yang digali atau diangkat dari bawah tanah mengandung logam sulfat atau dikenal sebagai metal sulfat, bila terekspos dengan udara akan menghasilkan sulfat (SO<sub>4</sub>). Selanjutnya jika terkena air atau ada air hujan akan membentuk asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Senyawa sulfat yang terbentuk ini akan menjadi sumber pencemaran terutama pada badan sungai. Biota air akan terganggu kehidupannya oleh adanya sifat asam pada air dengan nilai pH 2-3.

Di lain pihak asam sulfat tersebut akan menyebabkan logam – logam berat yang terdapat pada

bijih tambang menjadi larut dan juga terbawa air. Jika logam berat ini masuk ke perairan akan menjadi racun bagi berbagai organisme, karena sifat toksisitas pada logam itu. Akibat dari proses ini menyebabkan limbah pertambangan menghasilkan dua jenis sumber pencemaran yaitu kandungan sulfat dan kandungan logam – logam berat yang berbahaya, limbah ini disebut air asam tambang (Widyati, 2007; Fahrudin *et al.*, 2018). Selain itu, terdapat buangan lain dari kegiatan pertambangan, misalnya sisa bijih tambang, *tailing*, *sludge* dan buangan lainnya yang berupa limbah padat. Tentunya jika tidak dikontrol akan berdampak buruk bagi pekerja tambang, maupun bagi masyarakat yang bermukim di sekitar lahan pertambangan (Astuti & Sugianti, 2014).

Kegiatan pertambangan yang makin berkembang di Indonesia adalah pertambangan bijih emas, bahkan ada kegiatan pertambangan emas yang tidak legal. Karena tidak terkontrol sehingga tidak disadari memberikan dampak pencemaran sisa buangan pertambangan tersebut yang berbahaya, karena masih mengandung logam berat lainnya yang memiliki sifat toksik yang tinggi. (Fahrudin *et al.*, 2020). Salah satu logam berat yang banyak terkandung dalam buangan limbah pertambangan adalah logam berat kadmium (Cd), terutama terdapat dalam *tailing* dan air asam tambang. Salah satu pertambangan di Indonesia adalah

pertambangan emas Poboya terletak di Kecamatan Palu Timur, Kota Palu, Propinsi Sulawesi Tengah (Cyio *et al.*, 2012), seperti terlihat pada Gambar 1. Dari hasil penelitian limbahnya mengandung sejumlah logam berat (Golar *et al.*, 2019).



Gambar 1. Lokasi pertambangan emas Peboyo, Palu, Sulawesi Tengah

Pada lahan pertambangan emas Peboyo, masih terdapat sisa – sisa bijih tambang yang dihasilkan mengandung banyak logam berat, terutama logam berat kadmium (Wawo *et al.*, 2017; Golar *et al.*, 2019). Logam ini bersifat toksik, sehingga membahayakan pada kesehatan manusia, termasuk pada organisme yang lain (Cyio *et al.*, 2017). Dapat menimbulkan efek khusus pada makhluk hidup bila masuk dalam tubuh (Palar, 2004).

Secara alami di lingkungan, logam berat seperti kadmium mengalami tahapan transformasi dan akumulasi dalam jaringan makhluk hidup, yaitu pada hewan, tumbuhan dan termasuk pada manusia. Transformasi ini terjadi melalui rantai makanan dengan cara logam berat kadmium masuk ke dalam tubuh bersama makanan (Nur, 2013; Fahrudin & Asadi, 2018). Logam berat bertransformasi melalui mekanisme bioakumulasi di dalam jaringan tubuh organisme hidup. Jadi sepanjang kehidupan organisme tersebut jumlah logam berat yang terakumulasi akan terus terjadi peningkatan. Di samping itu, faktor yang menentukan adalah tingkat trofik biota dalam sistem rantai makanan yang berperan dalam menentukan kadar logam Cd yang terakumulasi. Bila jumlah kadar logam berat Cd yang terakumulasi tersebut melebihi ambang batas, maka organisme yang terkontaminasi logam berat Cd akan mengalami kematian (Barokah *et al.*, 2019; Nurhayati & Didha, 2019).

Teknologi yang dapat digunakan mereduksi pencemaran logam berat pada tanah yaitu dengan metode kimia, fisik, dan biologis, namun metode biologis, dianggap sebagai teknologi yang paling efektif dan ramah lingkungan dibandingkan dengan

metode yang lain (Hasyimuddin *et al.*, 2018).

Salah satu upaya penanganan pencemaran logam berat pada tanah adalah menggunakan mikroorganisme yaitu dengan bioremediasi. Bioremediasi mensyaratkan adanya agen biologis dalam proses pengembalian kondisi tanah tersebut dari akumulasi logam berat dalam tanah (Fahrudin, 2014). Bioremediasi diterapkan dengan mengandalkan kemampuan resistensi dari bakteri itu, didukung dengan penambahan nutrisi untuk memicu pertumbuhan bakteri pada tanah yang terkontaminasi logam berat, bahkan dapat ditingkatkan kemampuannya dengan penambahan mikroba eksogen sebagai kultur bakteri campuran (Ahmad, 2018; Ikerismawati, 2019).

Bakteri resisten logam berat Cd untuk proses bioremediasi diperoleh dari lingkungan tercemar, termasuk pada lahan pertambangan emas, karena yang diisolasi dari lahan yang tercemar memiliki tingkat resistensi yang tinggi terhadap zat pencemar logam berat dan berpotensi dimanfaatkan untuk tujuan bioremediasi (Jamilah & Amri, 2019).

Pendekatan secara mikrobiologis merupakan alternatif yang baik dan ramah lingkungan dapat dilakukan karena lebih ekonomis dan mudah dilakukan karena membutuhkan lahan yang tidak luas, sehingga metode mikrobiologi lebih prospek, yaitu dengan memanfaatkan bakteri dalam mereduksi logam berat yang terdapat dalam sisa buangan pertambangan (Gaikwad *et al.*, 2011). Oleh karena itu maka perlu dilakukan isolasi dan uji resistensi bakteri terhadap logam berat Cd.

## Bahan dan Metode

### Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Februari – Juli 2020, di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

### Sampel dan Media

Sampel tanah diperoleh dari lahan tambang emas Poboya, Palu, Sulawesi Tengah, dimasukkan dalam wadah plastik setril. Media pertumbuhan bakteri yang digunakan adalah *nutrient broth* dengan komposisi: pepton 10 g, NaCl 5 g, ekstrak daging sapi 3 g dalam 1000 ml. Media Nutrien Agar dengan komposisi: 0,5% pepton, 0,3% ekstrak daging sapi, 1,5% agar, 0,5% NaCl.

### Analisis Logam Berat Kadmium

Penentuan konsentrasi logam berat kadmium pada sampel tanah dilakukan dengan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), dengan berpatokan pada larutas baku standar sebagai dasar dalam kurva kalibrasi yaitu pada sumbu  $x$  adalah konsentrasi sedangkan sumbu  $y$

adalah absorbansi. Penetapan konsentrasi kadmium dengan mengambil 100 mL larutan sampel absorbansi diukur menggunakan pada panjang gelombang 228,8 nm. Berikutnya, hasil pengukuran absorbansi dari larutan standar kadmium diplotkan terhadap konsentrasi larutan kadmium pada sampel.

### Isolasi dan Seleksi Bakteri Resiten Kadmium

Sampel tanah dilakukan pengenceran secara berseri dengan mengambil menimbang 1 mg ke dalam 9 mL aquades steril, kemudian dihomogenkan sehingga didapatkan pengenceran, selanjutnya diinokulasikan pada media Nutrien Agar yang mengandung 5 ppm logam berat kadmium dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 2 x 24 jam. Selanjutnya mengamati koloni yang tumbuh dan memisahkan koloni yang berbeda pada agar miring dalam tabung reaksi.

### Karakterisasi Isolat Bakteri

Pemeriksaan makroskopis koloni dinilai berdasarkan warna pertumbuhan koloni, bentuk elevasi, karakterisasi optis, dan permukaan koloni. Pengamatan secara mikroskopis yang dengan melakukan pewarnaan Gram, selanjutnya diamati dibawa mikroskop.

### Uji Resistensi Kadmium pada Isolat

Isolat yang diperoleh dari hasil seleksi resisten kadmium, selanjutnya diinokulasikan ke dalam media *nutrient broth* yang mengandung kadmium dengan variasi konsentrasi 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm. Setelah itu, diinkubasi pada suhu 37°C selama 48 jam. Setiap perlakuan pertumbuhan bakteri nilai OD (*Optical Density*) diukur pada spektrofotometer menggunakan panjang gelombang 580 nm. Hasil absorbansi merupakan indikator untuk kepadatan populasi bakteri yang tumbuh. Isolat yang resisten terhadap logam berat kadmium berdasarkan tingkat kepadatan.

### Analisis Konsentrasi Akhir Kadmium

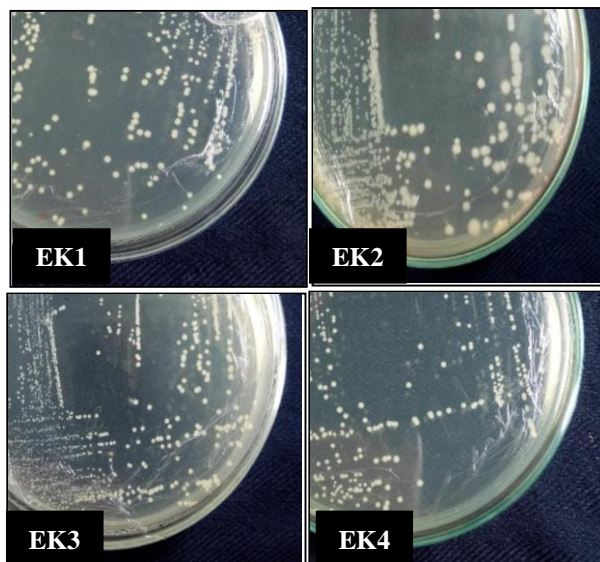
Analisis konsentrasi akhir kadmium dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), dilakukan pada *nutrient broth* yang berisi logam berat Cd 20 ppm, dan telah diinokulasikan isolat bakteri yang terbaik dalam resistensi logam Cd. Analisis akhir konsentrasi logam Cd dilakukan pada supernatan dan pelet media.

### Hasil dan Pembahasan

#### Isolasi dan Seleksi Bakteri Resiten Kadmium (Cd)

Dari hasil isolasi bakteri resisten kadmium menggunakan media *nutrient broth* yang ditambah 5 ppm, diperoleh 4 jenis koloni bakteri resisten dari pengamatan koloni yang tumbuh pada Nutrient Agar yaitu isolat EK1,

EK2, EK3, dan EK4. Keempat isolat ini memperlihatkan ciri morfologi koloni yang berbeda, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Pertumbuhan koloni isolat bakteri EK1, EK2, EK3 dan EK4

Hasil pengamatan morfologi koloni bakteri menunjukkan bahwa warna koloni berwarna putih, kecuali pada isolat EK2 berwarna putih kekuningan. Bentuk koloni isolat juga memperlihatkan bentuk yang sama yaitu *circular*, kecuali yang berbeda adalah pada bentuk tepi yaitu *entire*, *filamentous*, dan *undulate*. Bentuk elevasi ada *convex* dan *raised*, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik morfologi koloni isolat bakteri

| Isolat | Ciri Pertumbuhan Koloni |                 |                    |               |
|--------|-------------------------|-----------------|--------------------|---------------|
|        | Warna                   | Bentuk          | Tepi               | Elevasi       |
| EK 1   | Putih                   | <i>Circular</i> | <i>Entire</i>      | <i>Convex</i> |
| EK 2   | Kuning kecoklatan       | <i>Circular</i> | <i>Filamentous</i> | <i>Raised</i> |
| EK 3   | Putih                   | <i>Circular</i> | <i>Undulate</i>    | <i>Convex</i> |
| EK 4   | Putih                   | <i>Circular</i> | <i>Undulate</i>    | <i>Convex</i> |

Karakteristik morfologi makroskopis ini merupakan pendekatan awal untuk mengidentifikasi bakteri akan membantu dalam identifikasi mikroorganisme. Koloni adalah massa mikroorganisme yang semuanya berasal dari sel induk tunggal. Oleh karena itu sebuah koloni merupakan mikroorganisme yang mirip secara genetis. Setiap jenis bakteri akan membentuk morfologi koloni yang berbeda. Warna koloni muncul karena sifat-sifat beberapa media atau karena produksi pigmen oleh bakteri. Beberapa bakteri menghasilkan koloni berwarna karena perubahan pH atau aktivitas enzimatik. Pigmen yang diproduksi oleh bakteri

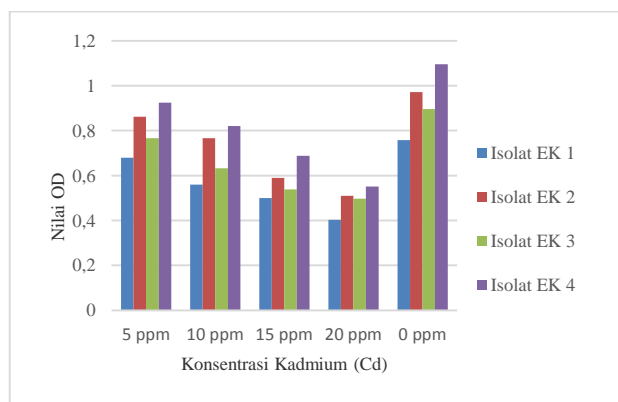
tertentu juga dapat mewarnai koloni. Setiap koloni yang berbeda mewakili klon bakteri individu (Fahrudin *et al.*, 2019).

Pada pengecatan Gram, semua isolat berbentuk batang atau basil dengan sifat Gram positif seperti pada Tabel 2, bakteri bentuk basil dapat ditemukan di dalam tanah dan udara karena memiliki flagella yang digunakan oleh bakteri untuk menghindari pada lingkungan yang tidak kondusif bagi pertumbuhannya, atau sebaliknya flagella ini digunakan sebagai alat gerak menuju pada lingkungan yang menguntungkan untuk berkembang (Dwiyana & Fahrudin, 2012).

Tabel 2. Pengecatan Gram pada isolat bakteri

| Isolat | Bentuk | Gram    |
|--------|--------|---------|
| EK 1   | Basil  | Positif |
| EK 2   | Basil  | Positif |
| EK 3   | Basil  | Positif |
| EK 4   | Basil  | Positif |
| EK 1   | Basil  | Positif |

Uji resistensi pada isolat bakteri dilakukan adalah untuk mengkaji kapasitas sifat resistensi isolat bakteri pada logam berat kadmium, dengan perlakuan beberapa variasi konsentrasi kadmium yaitu 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm, serta kontrol tanpa adanya penambahan Cd pada media uji. Uji resistensi dilakukan pada 4 isolat, yaitu EK1, EK2, EK3 dan EK4. Dari uji resistensi tersebut memperlihatkan keempat isolat bakteri berbeda nilai OD yang ditunjuk pada spektrofotometer, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai OD pertumbuhan isolat bakteri pada media *nutrient broth* dengan variasi konsentrasi kadmium.

Hal ini bukti bahwa nilai OD yang berbeda sebagai petunjuk kepadatan populasi bakteri yang tumbuh berbeda pula. Secara keseluruhan berdasarkan pada pertumbuhannya, memperlihatkan isolat EK 4 memiliki tingkat resistensi yang paling tinggi dibandingkan dengan

ketiga isolat yang lain. Pada isolat EK2 dan isolat EK4 menunjukkan kemampuan tumbuh lebih resisten dibandingkan dengan isolat EK1 dan EK3. Hal ini sebagai bukti bahwa isolat EK2 dan EK4 dapat bertahan pada logam Cd dengan konsentrasi tinggi dan dapat beradaptasi dengan memiliki fase pertumbuhan yang cukup lama.

Menurut Elliott, *et al.* (1998), bahwa semakin rendah nilai OD relevan dengan konsentrasi Cd yang ditambahkan pada media pertumbuhan. Pertumbuhan bakteri akan terhambat oleh adanya logam yang bersifat toksik pada metabolisme, sehingga dapat menghambat pertumbuhan bakteri, atau bahkan mematikan bakteri karena logam menjadi inhibitor pada mekanisme enzimatik dalam sel mikroba.

### Konsentrasi Akhir Kadmium

Isolat yang dipilih untuk uji resistensi selanjutnya adalah isolat terbaik dalam mereduksi logam berat Cd yaitu isolat EK2 dan isolat EK4. Dipilih berdasarkan kemampuan kedua isolat tersebut tumbuh pada konsentrasi logam berat Cd yang tinggi yaitu pada konsentrasi 20 ppm. Selanjutnya, diuji ulang kemampuan resistensinya pada larutan media yang mengandung 20 ppm logam berat Cd. Hasilnya, kedua isolat ini mampu mereduksi jumlah logam berat Cd pada supernatan dan pada pelet. Pada isolat EK2 mampu menurunkan konsentrasi logam berat Cd dari 20 ppm yaitu sebesar 0,0853 ppm berada pada supernatan dan 0,0631 ppm berada pada pelet, kemudian isolat bakteri EK4 mampu menurunkan konsentrasi logam berat kadmium sebesar 0,0813 ppm berada pada supernatan dan 0,0718 ppm berada pada pelet, seperti tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi akhir logam kadmium pada media *Nutrient Broth* yang mengandung konsentrasi logam Cd 20 ppm

| Isolat | Keberadaan Logam berat Cd | Konsentrasi akhir logam berat Cd (ppm) |
|--------|---------------------------|--|
| EK2    | Supernatan                | 0,0853                                 |
|        | Pelet                     | 0,0631                                 |
| EK4    | Supernatan                | 0,0813                                 |
|        | Pelet                     | 0,0718                                 |

Mikroba yang mampu bertahan hidup dan berkembang pada media dengan konsentrasi logam berat  $\geq 5$  ppm adalah dikategorikan bakteri yang mempunyai sifat resistensi tinggi terhadap logam berat. Kemampuan resistensi bakteri karena didukung oleh adanya gen yang dimiliki bakteri yang mengekspresikan produk metabolisme, seperti protein *metallothionein* atau produk metabolisme yang lain bersifat ekstraseluler seperti eksopolisakarida yang memiliki sifat ionik pada sejumlah



logam berat (Dwiyana & Fahrudin, 2012; Mu'minah *et al.*, 2015).

Mekanisme lain yang terjadi pada bakteri dalam mereduksi logam berat ataupun sebagai cara dalam melindungi dari sifat logam berat yang bersifat toksik adalah dengan mekanisme biosorpsi. Mekanisme ini terjadi melalui interaksi logam dengan sejumlah molekul yang disekresikan oleh bakteri pada dinding selnya. Terjadi melalui proses kimiawi yaitu terjadi pengikatan logam secara kovalen, ikat ionik, ikat hidrogen dan ikatan kimia lainnya yang timbul dari asam – asam amino dan karbohidrat yang disekresikan dinding sel bakteri (Fahrudin *et al.*, 2019).

Berdasarkan hasil di atas, yaitu isolate EK2 dan EK4 memiliki resistensi tinggi terhadap paparan Cd. Hal ini terjadi karena kelompok bakteri terdapat struktur senyawa lipoprotein, lipopolisakarida, fosfolipid, dan berbagai jenis kandungan protein yang ada pada dinding sel bakteri yang dapat digunakan melakukan proses detoksifikasi logam berat (Jin *et al.*, 2018; Kapahi & Sarita, 2019). Isolat bakteri EK2 dan EK4 yang diisolasi dari sampel tanah lahan pertambangan emas Peboyo, Palu Sulawesi Tengah, memiliki potensi dalam menyisihkan logam berat kadmium pada tanah tercemar logam berat Cd dengan teknik bioaugmentasi.

## Kesimpulan

Dari hasil penelitian diperoleh empat jenis isolat bakteri yang memiliki resistensi pada logam berat kadmium (Cd) yaitu isolat EK1, EK2, EK3 dan EK4. Dari hasil uji pertumbuhan pada logam berat kadmium dengan konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm dipilih EK2 dan EK4 sebagai isolat terbaik. Selanjutnya, pada uji kemampuan resisten pada media yang mengandung logam berat Cd 20 ppm menunjukkan kedua isolat mampu secara signifikan menurunkan konsentrasi kadmium yang berada pada supernatan dan pelet.

## Ucapan terima kasih

Penulis berterimakasih kepada Ketua Departemen Biologi Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin atas fasilitasnya dalam penggunaan Laboratorium Mikrobiologi, demikian pula pada Kepala Laboratorium atas dukungan sarana dan prasarana dalam mengerjakan penelitian ini.

## Referensi

Ahmad, R.Z. (2018). Mikoremediasi Menghilangkan Polusi Logam Berat pada Lahan Bekas Tambang untuk Lahan Peternakan. *Wartazoa*, 28 (1):41-50. doi: <http://dx.doi.org/10.14334/wartazoa.v28i1.1785>

Astiti, G. S. & Sugianti, T. (2014). Dampak Penambangan Emas Tradisional Pada Lingkungan dan Pakan Ternak di Pulau Lombok. *Sains Peternakan*, 12(2): 101-106. <https://jurnal.uns.ac.id/SainsPeternakan/article/view/4786/4128>

Barokah, G.R., Dwiyitno & Indrianto, N. (2019). Kontaminasi Logam Berat (HG, PB, dan CD) dan Batas Aman Konsumsi Kerang Hijau (*Perna viridis*) dari Perairan Teluk Jakarta di Musim Penghujan. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 14 (12): 95 95-104. doi: 10.15578/jpbkp.v14i2.611

Cyio, M.B., Uswah, H., Isrun, N. & Yuka, S. (2012). Gold Mining Activities and Its Impacts on Land Degradation in Central Sulawesi Indonesia. *Journal of Ecotechnology Research*, 16 (4):79-83. [https://www.researchgate.net/publication/323881065\\_Gold\\_Mining\\_Activities\\_and\\_Its\\_Impacts\\_on\\_Land\\_Degradation\\_in\\_Central\\_Sulawesi\\_Indonesia](https://www.researchgate.net/publication/323881065_Gold_Mining_Activities_and_Its_Impacts_on_Land_Degradation_in_Central_Sulawesi_Indonesia).

Cyio, M.B., Mahfudz1., Takanobu, I., Alam, A., Tomori, K., Nurdin, R., Golar, Muhammad, R., Muhammad, N. A., Muhammad, R. R. & Bohari. (2017). Impact of the Traditional Gold Mine Management on Public Health and Agricultural Land: A Study of Traditional Gold Mining in Poboya, Sausu and Dongi-Dongi Village, Central Sulawesi, Indonesia. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 15 (4):115-122. [https://www.researchgate.net/publication/321314364\\_Impact\\_of\\_the\\_traditional\\_gold\\_mine\\_management\\_on\\_public\\_health\\_and\\_agricultural\\_land\\_A\\_Study\\_of\\_traditional\\_gold\\_mining\\_in\\_Poboya\\_a\\_Sausu\\_and\\_Dongi-Dongi\\_Village\\_Central\\_Sulawesi\\_Indonesia](https://www.researchgate.net/publication/321314364_Impact_of_the_traditional_gold_mine_management_on_public_health_and_agricultural_land_A_Study_of_traditional_gold_mining_in_Poboya_a_Sausu_and_Dongi-Dongi_Village_Central_Sulawesi_Indonesia).

Dwiyana, S. & Fahrudin. (2012). Uji Resistensi Antibiotik pada Bakteri Resisten Merkuri (Hg) Yang di Isolasi dari Kawasan Pantai Losari Makassar, *Sainsmat*, 1 (2): 199-204. <https://ojs.unm.ac.id/sainsmat/article/view/744>.

Elliott, P., Ragusa, S. & 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):3724-3370. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135498001444>

Fahrudin & Asadi, A. (2018). Analisis Populasi Bakteri pada Air Asam Tambang Dengan Perlakuan Sedimen Mangrove. *Jurnal Ilmu Alam dan*

- Lingkungan, 9 (1): 70-77. <http://journal.unhas.ac.id/index.php/jai2/article/view/4875>.
- Fahrudin, F., Nursiah L. & Asadi, A. (2015). Use of Organic Materials Wetland to Improving the Capacity Sulfate Reduction Bacteria (SRB) of Reduce Sulfate In Acid Mine Water (AMW). *Asian Journal of Microbiology Biotechnology & Environmental Sciences*, 17 (2):321-324. [http://www.envirobiotechjournals.com/article\\_abstract.php?aid=5967&iid=191&jid=1](http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=5967&iid=191&jid=1)
- Fahrudin, F., As'adi, A. & Nursiah, L. (2018). Treatment of Acid Mine Drainage Waste Using Sediment As Source of Sulfate-Reducing Bacteria to Reduce Sulfates. *Pollution Research*, 37 (4): 903-907. [http://www.envirobiotechjournals.com/article\\_abstract.php?aid=9085&iid=263&jid=4](http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=9085&iid=263&jid=4)
- Fahrudin, F., Eva, J. & Zaraswati, D. (2019). Antifouling Potential of *Thalassia Hemprichii* Extract Against Growth of Biofilm-Forming Bacteria. *ScienceAsia*, (45): 21–27. [http://www.scienceasia.org/2019.45.n1/scias45\\_2\\_1.pdf](http://www.scienceasia.org/2019.45.n1/scias45_2_1.pdf)
- Fahrudin (2010). *Bioteknologi Lingkungan*. Penerbit Alfabeta, Bandung. ISBN: 978-602-8800-14-3
- Fahrudin, F., Nur, H., As'adi, A., Abdul, W. & Rifaat. (2010). Deteksi Unsur Logam Dengan XRF dan Analisis Mikroba pada Limbah Air Asam Tambang dari Pertambangan di Lamuru - Kabupaten Bone. *Jurnal Geocelebes*, 4 (1):7-13. <http://journal.unhas.ac.id/index.php/geocelebes/article/view/7831>
- Gaikwad, R. W., Sapkal, V. S. & Sapkal, R. S. (2011). Acid Mine Drainage: A Water Pollution Issue In Mining Industry. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 2 (4):257-262.
- Golar, Muhammad, B., Muhammad, R., Rahmat, B., Bohari, Muhammad, F. P., Muhammad A. & Laihi, A. (2019). Gold Mining and its Impact on Agricultural Land, Public Health, Violation of the Law: A Study on Poboya Traditional Mining, Palu, Indonesia. *Indian Journal of Public Health Research and Development*, 10 (10):924. [https://www.researchgate.net/publication/338137138\\_Gold\\_Mining\\_and\\_its\\_Impact\\_on\\_Agricultural\\_Land\\_Public\\_Health\\_Violation\\_of\\_the\\_Law\\_A\\_Study\\_on\\_Poboya\\_Traditional\\_Mining\\_Palu\\_Indonesia](https://www.researchgate.net/publication/338137138_Gold_Mining_and_its_Impact_on_Agricultural_Land_Public_Health_Violation_of_the_Law_A_Study_on_Poboya_Traditional_Mining_Palu_Indonesia).
- Hasyimuddin, H., Fatmawati, N. & Indriani, I. (2018). Isolasi Bakteri Pengakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Saluran Pembuangan Limbah Industri Kabupaten Gowa. *Biotropic: The Journal of Tropical Biology*, 2 (2):126-132. DOI: 10.29080/biotropic.2018.2.2.126-132
- Ikerismawati, S. (2019). Bioremediasi Pb Oleh Bakteri Indigen Limbah Cair Agar. *Jurnal Biosilampari :Jurnal Biologi*, (1) 2: 51-58. DOI: <https://doi.org/10.31540/biosilampari.v1i2.288>
- Jamilah & Amri (2019) Analisis Bakteri Pengakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) di Tanah Pembuangan Limbah Industri Non-Pangan. *Celebes Biodiversitas*, 2 (2):7-13. <http://ojs.stkippi.ac.id/index.php/CB/article/view/172/147>
- Jin, Y., Yaning, L., Yangcui, N. & Lingyan, W. (2018). Review Effects and Mechanisms of Microbial Remediation of Heavy Metals in Soil: A Critical Review. *Applied Sciences*, 8 (1336): 1- 17. doi: 10.3390/app8081336
- Kapahi, M. & Sarita, S. (2019). Bioremediation Options for Heavy Metal Pollution. *Journal Health Pollution*. 9 (24): 191203. doi: 10.5696/2156-9614-9.24.191203
- Mu'minah, Baharuddin, B., Subair, H. & Fahrudin. (2015). Isolation and Screening Bacterial Exopolysaccharide (EPS) From Potato Rhizosphere In Highland And The Potential As A Producer Indole Acetic Acid (IAA). *Procedia Food Science* (3): 74-81. [https://www.researchgate.net/publication/282832227\\_Isolation\\_and\\_Screening\\_Bacterial\\_Exopoly\\_saccharide\\_EPS\\_from\\_Potato\\_Rhizosphere\\_in\\_Highland\\_and\\_the\\_Potential\\_as\\_a\\_Producer\\_Indole\\_Acetic\\_Acid\\_IAA](https://www.researchgate.net/publication/282832227_Isolation_and_Screening_Bacterial_Exopoly_saccharide_EPS_from_Potato_Rhizosphere_in_Highland_and_the_Potential_as_a_Producer_Indole_Acetic_Acid_IAA)
- Nur, F. (2013). Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *Biogenesis*, 1 (1):74-83. <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/biogenesis/article/viewFile/450/427>
- Nurhayati, D. & Didha, A. P. (2019). Bioakumulasi Logam Berat Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Cirebon Berdasarkan Musim yang Berbeda. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 4 (1): 6-10. DOI:10.24198/jaki.v4i1.23484.
- Palar, H. (2004). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Penerbit Rineka Cipta, Jakarta. ISBN: 9795185950.

Rinasari E, O., Maulana, Y. & Taufik, A. (2019). Kajian Pengelolaan Limbah B3 Hasil dari Kegiatan Pertambangan Batubara. *Jurnal Pertambangan*, 3 (4):52-58.

<https://ejournal.unsri.ac.id/index.php/mining/article/view/10013>

Wawo, R.H.A., Sri, W., Nurliah, J. & Firman, N. Y. (2017). Analisis Pengaruh Penambangan Emas Terhadap Kondisi Tanah pada Pertambangan

Rakyat Poboya Palu, Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Geomine*, 5 (3): 116-119.  
<https://jurnal.teknologiindustriumi.ac.id/index.php/JG/article/view/141>

Widyati E. (2007). The Use of Sulphate-Reducing Bacteria In Bioremediation of Ex-Coal Mining Soil. *Biodiversitas*, 8 (4):283-286.  
<https://smujo.id/biodiv/article/view/427>