

Mikroorganisme sebagai agen bioremediasi limbah merkuri (Hg) penambangan emas

Anggi Reza Pramesti, Sella Mustika, Nurul Habibah, Sofia Puspitarini,
Meichica Serlie, Oktira Roka Aji *

Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Terapan, Universitas Ahmad Dahlan
Jl. Jendral Ahmad Yani (Ringroad Selatan) Tamanan, Banguntapan, Bantul
Daerah Istimewa Yogyakarta 55191
oktira.aji@bio.uad.ac.id*
*korespondensi penulis

Abstrak

Proses penambangan emas di wilayah Indonesia dapat menghasilkan limbah berupa logam berat, salah satunya adalah merkuri (Hg). Merkuri merupakan salah satu jenis polutan yang bersifat toksik. Merkuri menimbulkan masalah serius pada kesehatan manusia, seperti bioakumulasi merkuri dalam otak dan ginjal pada akhirnya mengarah pada penyakit neurologis. Mikroorganisme merupakan agen biologi penting yang dapat digunakan untuk bioremediasi, maka beberapa tahun terakhir ini kajian di bidang mikrobiologi terapan menjadi dasar teknologi bioremediasi dengan memanfaatkan mikroorganisme yang dapat mereduksi merkuri. Sejumlah mikroorganisme resisten terhadap merkuri telah diisolasi dari berbagai pertambangan emas di Indonesia. Beberapa mikroorganisme yang mampu meremediasi limbah merkuri seperti, *Morganella morganii*, *Brevundimonas vesicularis*, *Fusobacterium aquatile*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, dan mikroorganisme *indigenus* lain. Mikroorganisme dapat meremediasi merkuri dengan mekanisme yang berbeda sesuai dengan jenis spesiesnya.

Kata kunci: bioremediasi, logam berat merkuri (Hg), tambang emas

Abstract

Mercury poses serious problems for human health, as mercury bioaccumulation in the brain and kidneys ultimately leads to neurological diseases. Microorganisms are important biological agents that can be used for mercury bioremediation. A number of microorganisms resistant to mercury have been isolated from various gold mines in Indonesia. Some microorganisms that are able to remediate mercury waste such as *Morganella morganii*, *Brevundimonas vesicularis*, *Fusobacterium aquatile*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, and other indigenous microorganisms. Microorganisms can remediate mercury by different mechanisms according to the type of species.

Keywords: bioremediation, mercury, gold mining

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki cadangan sumber daya emas besar. Penambangan emas tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Namun pada proses penambangannya digunakan proses ekstraksi yang berbahaya baik bagi lingkungan maupun makhluk hidup, yaitu menggunakan logam merkuri untuk proses amalgamasi karena biaya yang dikeluarkan relatif rendah. Merkuri merupakan salah satu jenis polutan yang bersifat

toksik (Santi & Goenadi, 2009). Hal ini sejalan dengan diungkapkan oleh Selid, *et al* (2009), bahwa merkuri adalah unsur yang sangat beracun yang banyak tersebar di atmosfer, litosfer, dan air permukaan. Merkuri menimbulkan masalah serius bagi kesehatan manusia. Merkuri dapat terakumulasi dalam otak dan ginjal sehingga pada akhirnya mengarah pada penyakit neurologis. Oleh karena itu, perlu dilakukannya penanggulangan yang tepat.

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah merkuri dari pertambangan emas dapat didegradasi oleh lingkungan melalui proses biologis yaitu melalui proses bioremediasi. Bioremediasi merupakan proses penguraian limbah organik atau anorganik secara biologi menggunakan organisme hidup, terutama mikroorganisme, dalam kondisi terkendali dengan tujuan mengontrol atau mereduksi bahan pencemar dari lingkungan (Vidali *et al*, 2001). Mikroorganisme memiliki kemampuan meremediasi limbah merkuri melalui proses detoksifikasi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya diketahui beberapa mikroorganisme *indigenous* dapat meremediasi limbah merkuri dalam tanah dari pertambangan emas.

PEMBAHASAN

Bioremediasi merkuri oleh mikroorganisme dapat dilakukan karena mikroorganisme memiliki mekanisme detoksifikasi logam berat. Mekanisme detoksifikasi logam berat secara umum yang dapat dilakukan oleh mikroorganisme yaitu biosorpsi, bioakumulasi, presipitasi, solubilisasi, metilasi, volatilisasi, reduksi secara enzimatis dan reduksi bergabung dengan reduksi sulfat. Kemampuan mikroorganisme dalam meremediasi merkuri berbeda-beda. Selain itu, setiap mikroorganisme juga memiliki mekanisme yang berbeda dalam meremediasi merkuri sesuai dengan jenis spesiesnya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui terdapat isolat-isolat mikroorganisme yang dapat meremediasi merkuri dalam tanah dari pertambangan emas (Tabel 1).

Tabel 1. Isolat mikroorganisme yang dapat meremediasi merkuri dari limbah tambang emas

Tambang	Isolat Mikroorganisme	Referensi
Tambang Emas Tumpang Pitu	<i>Morganella morganii</i>	Lutfi <i>et al.</i> , 2018
Tambang Emas Sekotong, Lombok Barat	<i>Brevundimonas vesicularis</i> <i>Fusobacterium aquatile</i>	Nurfitrani <i>et al.</i> , 2018
Tambang Emas Sumatra Barat	Isolat mikroorganisme <i>indigenous</i> (MRB 1, MRB 2, MRB 3, MRB 5, MRB 6)	Febria <i>et al.</i> , 2016
Tambang Emas Kampung Mandor	Isolat mikroorganisme <i>indigenous</i> (bakteri gram negatif)	Winardi <i>et al.</i> , 2019
Tambang Emas Ilegal Pulau Buru	<i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus flavus</i>	Hindersah <i>et al.</i> , 2018

Menurut Yani (2011), terdapat 3 teknik dasar yang biasa digunakan dalam bioremediasi, antara lain :

- a. Stimulasi aktivitas mikroorganisme asli (di lokasi tercemar) dengan penambahan nutrient, pengaturan kondisi redoks, dan optimasi pH.
- b. Inokulasi (penanaman) mikroorganisme di lokasi tercemar, yaitu mikroorganisme yang memiliki kemampuan biotransformasi khusus.
- c. Penerapan Immobilized enzymes.

Bioremediasi merkuri oleh mikroorganisme dapat dilakukan dengan berbagai cara tergantung pada spesies yang terlibat. Pada bakteri *Morganella morganii*, bioremediasi merkuri dilakukan dengan cara mereduksi atau mendegradasi merkuri sehingga tidak berbahaya lagi bagi lingkungan. Studi kasus pada tambang emas Tumpang Pitu, Banyuwangi ditemukan bakteri indigenus dengan spesies *Morganella morganii* yang adaptif terhadap media dengan kadar merkuri tertentu dan dapat mereduksi merkuri dalam tanah hingga sebesar 92,46 % dan menurunkan kadar merkuri dalam tanah dengan cukup baik. Bakteri indigenus diketahui memiliki kemampuan yang baik dalam beradaptasi pada lingkungan ekstrim sehingga dapat melakukan remediasi dengan cara mereduksi zat berbahaya menjadi lebih ramah dengan lingkungan. Bioremediasi dengan bakteri indigenus lebih efektif dan murah karena dapat dilakukan secara in-situ dan kemampuannya jauh lebih baik dibandingkan dengan agen bioremediasi dari lingkungan tersebut.

Berdasarkan pengujian agen bioremediasi yang dilakukan pada pertambangan emas skala kecil di Sekotong dilaporkan bahwa terdapat empat spesies bakteri yang mampu tumbuh pada media bermerkuri 5 ppm yang kemudian diukur kemampuan akumulasi merkuri oleh bakteri tersebut. Besar akumulasi merkuri pada bakteri dapat diukur dengan F732-S Cold Atomic Absorption Mercury Vapor Analyzer. Bakteri *Brevundimonas vesicularis* dapat mengakumulasi Hg dengan konsentrasi paling tinggi dan paling baik dibanding bakteri lain yang diisolasi diikuti dengan bakteri *Fusobacterium aquatile*. Ketahanan dan kecepatan respon bakteri *Brevundimonas vesicularis* dan *Fusobacterium aquatile* terhadap logam berat diakibatkan adanya mekanisme resistensi. Mekanisme ini berfungsi untuk mendetoksifikasi dan menghilangkan logam berat dari lingkungan yang tercemar. Ketika metallothionein diekspresikan, polyphosphate kinase menunjukkan adanya agregasi sel pada konsentrasi merkuri yang tinggi. Metallothionein diketahui mampu melindungi bakteri dari efek berbahaya merkuri dan dapat memberikan kemampuan bioremediasi merkuri. Resistensi bakteri terhadap merkuri diakibatkan bakteri mempunyai gen yang tahan terhadap merkuri

(mer Operon). Gen ini menyebabkan bakteri mampu memproduksi enzim reductase merkuri (MerA) yang mengurangi ion reaktif Hg (II) menjadi volatile dan uap monoatomic Hg (0), MerB, yang mendegradasi organomerkurial oleh protonolysis, dan MerR yang mengatur serapan merkuri.

MRB 1, MRB 2, MRB 3, MRB 5, MRB 6 merupakan bakteri yang diisolasi dari tanah pertambangan emas di Sumatera Barat dan merupakan bakteri indigenus yang memiliki protein merkuri reductase (MerA), juga organomerkuriltase (MerB) yang mengkatalisis pemutusan ikatan merkuri-karbon dengan demikian menghasilkan senyawa organik dan ion Hg sebagai thiol salt. Bakteri dapat resisten terhadap merkuri dan mendetoksifikasi merkuri karena memiliki gen resisten terhadap merkuri yaitu operon mer. Masing-masing bakteri memiliki struktur operon mer yang berbeda. Umumnya, operon mer ini terdiri atas *metalregualtor gene* (merR), *mercury transport gene* (merT, merP, merC), *mercury reductase gene* (merA), and *organomercury liase* (merB). Protein dari gen merA memiliki kemampuan mereduksi merkuri yang bersifat toksik menjadi merkuri yang tidak beracun Hg(0) yang dapat menguap pada suhu ruang. Sedangkan merB berfungsi menghasilkan enzim yang mengkatalisis reaksi pemutusan ikatan merkuri-karbon sehingga diperoleh senyawa organik dan ion Hg(II).

Bakteri indigenus (gram negatif) yang ditemukan pada tanah pertambangan di Kampung Mandor memiliki toleransi yang tinggi terhadap logam karena memiliki struktur dinding sel yang kompleks yang dapat mengikat dan immobilisasi ion logam, termasuk Hg²⁺ dan efek logam berat merkuri diblokir oleh polisakarida ekstraseluler yang diproduksi sel bakteri tersebut sehingga bahaya dari merkuri pada lingkungan dapat dikurangi. Bakteri ini merupakan bakteri yang hidup pada tanah tercemar dan diketahui memiliki kemampuan mengubah polutan pada lingkungan. Bakteri dalam tanah yang mengalami perubahan lingkungan secara ekstrem akibat polutan dapat secara cepat menormalkan kembali lingkungan dengan menyekresikan produk metaboliknya yang akan melawan polutan lingkungan.

Secara luas fungi dapat digunakan untuk meremediasi tanah yang terkontaminasi oleh logam berat dengan beberapa mekanisme mobilisasi. Fungi yang terdapat dalam tanah seperti *Aspergillus niger* dan *Aspergillus flavus* diketahui dapat menunjukkan kemampuan untuk melakukan biotransformasi logam berat. Mikroorganisme ini dapat mengubah mobilisasi merkuri dalam tanah. Fungi memiliki kemampuan untuk menyimpan Hg dan juga menyekresikan asam organik untuk meningkatkan mobilisasi logam berat. Mekanisme fungi

Aspergillus niger dan *Aspergillus flavus* dalam menurunkan kadar merkuri di dalam tanah dilakukan dengan mengimobilisasi Hg dalam tanah sehingga terikat pada dinding sel.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa terdapat spesies mikroorganisme yang dapat berperan sebagai agen bioremediasi merkuri terutama pada tanah pertambangan emas. Mekanisme remediasi yang dilakukan mikroorganisme terhadap merkuri pun bermacam-macam, seperti volatilisasi merkuri berbahaya, imobilisasi merkuri, reduksi secara enzimatik, adaptasi dinding sel, serta pengubahanan menjadi senyawa yang lebih aman. Mekanisme-mekanisme yang dilakukan mikroorganisme tersebut diharapkan dapat mengurangi dampak negatif polusi logam berat terutama merkuri pada penambangan emas yang tersebar di seluruh Indonesia sehingga lingkungan lebih terjaga dari polutan merkuri.

SIMPULAN

Limbah merkuri pada tanah dari pertambangan emas dapat diremediasi oleh beberapa mikroorganisme antara lain; *Morganella morganii*, *Brevundimonas vesicularis*, *Fusobacterium aquatile*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, dan mikroorganisme *indigenous* lain. Mekanisme remediasi dilakukan dengan berbagai metode sesuai spesies dengan kemampuan masing-masing mikroorganisme

REFERENSI

- Febria FA., Zakaria IJ., Skyukriyani L., Rahayu SP & Fajri MA. 2016. The Highest Mercury Resistant Bacteria as a Mercury remediator from gold mining Soil in West Sumatra, Indonesia. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 8(1):394-397.
- Hindersah R., Asda KR., Herdiantoro D & Kamaluddin NN. 2018. Isolation of Mercury-resistant fungi from Mercury-contaminated agricultural Soil. *Journal Agriculture*. 8(3):33
- Lutfi S R., Wignyanto, & Kurniati Evi. 2018. Bioremediasi Merkuri menggunakan bakteri Indigenous dari limbah penambangan Emas Di Tumpang Tipu, Banyuwangi. *Jurnal Teknologi Pertanian*. Vol 19 No.1 15-24.
- Nurfitriani Siska., Chasanah Umi., Nuraeni Yulia., Fiqri Amrullah., & Handayanto Eko. 2018. Kemampuan Akumulasi Merkuri Oleh Bakteri Yang Diisolasi Dari Tailing Tambang Emas Skala Kecil. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Sub Optimal*.
- Selid, Paul, D., Hanying Xu, E Michael Collins, Marla Striped FC & Julia X Z. 2009. Sensing Mercury for Biomedical and Environmental Monitoring. *Sensors*. No 5446-5459.
- Siahaan, B, C, Utami, S, & R, Handayanto, E. 2014. Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri menggunakan *Lindernia crustacea*, *Digitaria radicata*, dan *Cyperus rotundus* serta

- pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung. *Jurnal Tanah dan Sumber Daya Lahan*. 1 (2):35-51
- Santi LP, & Goenadi DH. 2009. Potensi *Pseudomonas fluorescens* strain KTSS untuk bioremediasi merkuri di dalam tanah. *Menara Perkebunan*. 77(2):110-124.
- Vidali, M. 2001. Bioremediation. *An overview Pure Appl. Chem.* Vol 73, No 7, pp. 1163-1172.
- Winardi, Sudrajat., Haryono E & Soetarto ES. 2019. Potential of soil Bacteria as Mercury Bioremediation Agent in Traditional Gold Mining. *Biosantifika : Journal of Biology & Biology Education*. 118-106.
- Yani, Suryani. 2011. Bioremediasi Limbah Merkuri Dengan Menggunakan Mikroorganisme Pada Lingkungan yang Tercemar. *Jurnal Review*. Edisi Juni Vol 1-2.

