

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI
UNTUK AGEN BIOREMOVAL LOGAM BERAT MERKURI
(Isolation and Characterization Bacteria for Bioremoval Agent of Mercury Heavy Metal)**

**Muhammad Badjoeri¹⁾, Sekar Larashati¹⁾, Awalina¹⁾, M.S. Syawal¹⁾, Sugiarti¹⁾,
Hafidh Zarkasyi²⁾ dan Mardiasyah²⁾**

ABSTRAK

Bioremoval logam berat dapat dilakukan dengan memanfaatkan bakteri pengakumulasi logam berat. Beberapa jenis diantaranya, yaitu Pseudomonas, Leptotrix, Klebsiella, Citrobacter dan Bacillus. Bakteri-bakteri tersebut dapat diperoleh dengan mengisolasi sampel dari lingkungan tercemar. Tujuan penelitian untuk mendapatkan isolat murni bakteri untuk agen bioremoval logam berat merkuri. Sampling air dan sedimen di tiga titik, yaitu outlet limbah PT. Indah Kiat, bendungan baru dan tanjung burung di hilir Sungai Cisadane. Analisa sampel di Lab. Mikrobiologi Puslit Limnologi LIPI. Isolasi bakteri menggunakan nutrisi agar dengan metode streak dan spread plate, inkubasi suhu ruang selama 24 jam. Karakterisasi meliputi pengamatan morfologi koloni, pewarnaan Gram, pengamatan mikroskopis dan uji resistensi terhadap Hg. Identifikasi di Balitvet-Bogor. Uji viabilitas pada media mengandung logam Hg dengan konsentrasi 1.5, 3, 5, 7 dan 10 ppm. Isolasi uji yaitu isolat A.SI.3A (sampel air) dan SIII 5.1.2 (sample sedimen). Pengamatan pertumbuhan dengan mengukur kerapatan optik (OD) kultur dengan masa inkubasi 0 jam dan 24 jam. Berhasil diisolasi bakteri sebanyak 4 isolat (dari air) dan 11 isolat (dari sedimen). Uji viabilitas menunjukkan isolat A.SI.3A dan S III 5.1.2 mampu beradaptasi dan tumbuh pada media mengandung Hg sampai 10 ppm selama 24 jam. Pertumbuhan isolat A.SI.3A pada media [Hg] 1,5 ppm dan [Hg] 3 ppm tidak menunjukkan adanya hambatan pertumbuhan, namun pada media dengan [Hg] 5 ppm, 7 ppm dan 10 ppm memperlihatkan penurunan pertumbuhan. Sedangkan isolat S III 5.1.2 pertumbuhannya mengalami hambatan pada media [Hg] 1,5 – 10 ppm, namun demikian isolat S III 5.1.2 masih dapat tumbuh. Hasil identifikasi isolat A.SI.3A adalah Bacillus megaterium. Berdasarkan hasil penelitian ini maka isolat bakteri Bacillus megaterium yang diambil dari hilir Sungai Cisadane dapat dijadikan isolat terpilih untuk agen bioremoval logam berat Hg.

Kata kunci: *Isolasi, karakterisasi, bakteri, bio-removal, logam berat merkuri, identifikasi*

ABSTRACT

Mercury (Hg) is one a dangerous heavy metal, and in Indonesia has many found contamination case of river by mercury. Various bacteria types is known to has ability to absorb heavy metal. This approach recognized bio-removal process by using bacteria. Downstream Cisadane river is good location to get collection of bacteria. Isolation and characterization of bacteria is step which must be done to get bio-removal bacteria agent. Has been done research of isolation and characterization of bacteria from Cisadane downstream for bio-removal agent of mercury heavy metal. Research is done in laboratory of microbiology in Research Center for Limnology LIPI. Isolation by spread plate and streak plate method, observation of morphology and cell bacteria at agar nutrient media and Gram staining technique and microscopy. Viability test is done by growing bacteria at media containing mercury heavy metal with different concentration during 24 hours. identification of Bacteria is done in microbiology laboratory in Research Center for Veterinary (Balitvet) Bogor. Successfully is purified and characterization 4 isolate of bacteria from water coloum and 11 isolates from sediment. Result of viability test is got 1 isolate (isolat A.SI.3A) having ability of adaptation to grow at media containing mercury heavy metal and made as pre-eminent isolate for agent bio-removal mercury heavy metal. Result of identification of bacteria (isolat A.SI.3A) is Bacillus megaterium.

Key Words: *Isolation, characterization, ,bacteria, bio-removal, mercury heavy metal, identification*

¹ Pusat Penelitian Limnologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

² Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

PENDAHULUAN

Logam berat merupakan komponen alami tanah. Beberapa jenis logam dalam konsentrasi sangat kecil, seperti tembaga (Cu), selenium (Se) dan seng (Zn) merupakan elemen yang dibutuhkan tubuh organisme dalam membantu proses metabolisme tubuh, namun demikian logam-logam tersebut berpotensi menjadi racun jika terdapat di dalam tubuh organisme dalam konsentrasi tinggi (Nugroho 2001)

Pada lingkungan perairan maupun daratan, bila telah tercemar logam berat maka proses pembersihannya relatif sulit dilakukan (Nordberg *et al.* 1986 dalam Putra & Putra 2005). Menurut Wild (1995) USEPA melaporkan ada 13 elemen logam berat merupakan elemen pencemar berbahaya dan beberapa diketahui dapat membahayakan kesehatan manusia dan kelangsungan kehidupan organisme di lingkungan.

Merkuri (Hg) merupakan salah satu logam berat yang berbahaya. Kasus keracunan merkuri pertama kali dilaporkan terjadi di Minamata, Jepang pada tahun 1953. Di Indonesia, kasus kontaminasi merkuri ditemukan pada sungai di Surabaya tahun 1996. Proses metilisasi merkuri terjadi di alam pada kondisi tertentu membentuk elemen berbahaya, dalam bentuk ini merkuri mudah terakumulasi pada rantai makanan. Oleh karena itu penggunaan fungisida alkilmerkuri dalam pembenihan tanaman tidak diizinkan di banyak negara (Suhendrayatna 2001).

Beberapa jenis mikroorganisme (bakteri) diketahui mampu menyerap logam berat melalui aktivitas metabolismenya. Pendekatan ini yang dijadikan dasar penelitian untuk mengembangkan bioremoval menggunakan bakteri. Pemanfaatan bakteri sebagai agen bioremoval logam berat untuk sistem perairan tercemar perlu dikembangkan karena salah satu alternatif pendekatan biologis yang potensial, ekonomis dan ramah lingkungan untuk pengelolaan kualitas air.

Secara alamiah bakteri berkembang dan beradaptasi dengan kondisi lingkungannya. Pada kolom air dan *surface sediment* yang banyak terakumulasi logam berat akan ditumbuhi oleh berbagai kelompok bakteri yang dapat memanfaatkan logam berat (Atlas & Bartha 1993).

Untuk mendapatkan jenis bakteri yang resisten terhadap toksisitas ion logam berat harus melalui isolasi, karakterisasi dan seleksi yang ketat (Suhendrayatna 2001). Isolasi dan karakterisasi bakteri dari lingkungan yang tepat merupakan langkah awal

yang sangat menentukan untuk mendapatkan isolat bakteri agen bioremoval logam berat (Badjoeri *et al.* 2006).

Sungai Cisadane adalah salah satu sungai di Jawa Barat yang diketahui tercemar logam merkuri. Sungai Cikaniki salah satu anak sungai yang bermuara ke Sungai Cisadane telah teridentifikasi tercemar logam merkuri (Syawal & Yustiawati 2004). Oleh karena itu Sungai Cisadane dapat dijadikan lokasi eksplorasi untuk mendapatkan isolat bakteri agen bioremoval logam berat.

Bioremoval adalah suatu keadaan dimana terkonsentrasi dan terakumulasinya bahan pencemar dalam tubuh mikroorganisme (material biologi), dan material biologi tersebut mampu *recovery* polutan sehingga dapat dibuang dan ramah terhadap lingkungan (Suhendrayatna 2001, Putra & Putra 2005). Mekanisme bioremoval melibatkan proses biologis dan kimiawi. Secara biologis, proses bioremoval logam berat terdiri dari proses *active uptake* dan *passive uptake* (Suhendrayatna 2001). Umumnya mekanisme bioremoval logam berat oleh mikroorganisme yaitu proses pertukaran ion, dirumuskan sebagai berikut: $A^{2+} + (B\text{-biomassa}) \rightarrow B^{2+} + (A\text{-biomassa})$. Mekanisme berlangsung atas 3 cara yaitu berdasarkan metabolisme sel, posisi logam berat *remove* dan biosorpsi logam (Putra & Putra 2005).

Passive uptake adalah proses yang terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel biosorben (material biologi). Mekanisme *passive uptake* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu: 1). Pertukaran ion di mana ion pada dinding sel digantikan oleh ion logam berat. 2). Pembentukan senyawa kompleks antara ion logam berat dengan gugus fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil secara bolak balik dan cepat (Putra & Putra 2005). Sebagai contoh adalah pada *Sargassum sp.* dan *Eklonia sp.* di mana Cr(VI) mengalami reaksi reduksi pada pH rendah menjadi Cr(III) dan Cr(III) *remove* melalui proses pertukaran kation. *Active uptake* terjadi pada berbagai sel hidup. Mekanisme ini secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme (akumulasi intraselular ion logam) dan proses ini dipengaruhi oleh pH dan suhu (Suhendrayatna 2001). Dengan demikian proses bioremoval logam berat proses kimiawi dan biologis tidak dapat dipisahkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi bakteri indigenous dari perairan hilir Sungai Cisadane untuk agen bioremoval logam berat merkuri (Hg).

BAHAN DAN CARA KERJA

Penelitian ini dilakukan pada tahun 2007 di Laboratorium Mikrobiologi dan Laboratorium Hidrokimia Pusat Penelitian Limnologi LIPI Cibinong. Pengambilan sampel air dan sedimen sebagai sumber isolat bakteri dilakukan di perairan hilir Sungai Cisadane, pada 3 titik sampling, yaitu: 1). Outlet limbah PT. Indah Kiat Tangerang yang masuk ke sungai), 2). Bendungan Baru Cisadane, dan 3) Tanjung Burung (dekat muara sungai).

Pengambilan sampel air dilakukan secara aseptik menggunakan botol steril sebanyak 250 ml, sedangkan pengambilan sampel sedimen menggunakan *ekman grab*. Sampel disimpan dalam kotak pendingin (*cooling box*) untuk selanjutnya di analisa di laboratorium.

Isolasi bakteri menggunakan metode *streak plate* dan *spread plate* (Cappuccino & Sherman 1996) dan teknik pengenceran sampel air dari 10^{-1} sampai 10^{-6} (Pikoli & Radiatuti 2003) pada media *nutrien agar* NA. Karakterisasi bakteri meliputi pengamatan morfologi sel bakteri, pewarnaan *Gram*, pengamatan mikroskopis, dan uji resistensi bakteri terhadap logam berat Hg.

Isolasi bakteri :

Suspensi bakteri diinokulasikan pada permukaan media dengan menggunakan spatula L sampai merata dan disterilkan dengan mencelupkan dalam alkohol 70% lalu dibakar menggunakan lampu spiritus. Kultur bakteri dinkubasikan pada suhu ruang selama 24 - 48 jam, sampai didapatkan koloni bakteri yang terpisah. Setiap koloni bakteri dipindahkan pada tabung reaksi dengan *media NA agar miring* dan diberi kode isolat. Isolasi dari sample sedimen dilakukan dengan metoda dan kondisi inkubasi yang sama. Pengenceran dilakukan dengan melarutkan 1 gram sediment dalam 9 ml larutan aquadest steril.

Pewarnaan Gram :

Preparat bakteri setelah difiksasi diteteskan larutan *Hucker crystal violet* (larutan A: 2g crystal violet + 20 ml ethanol 95% dan larutan B: 0,8g ammonium oxalate + 80 ml distilled water), dibiarkan selama 1 menit lalu dibilas dengan akuades mengalir. Kemudian preparat diberi beberapa tetes larutan *iodine* dan dibiarkan selama 1 menit lalu dibilas dengan akuades yang mengalir. Selanjutnya preparat dibilas dengan alkohol 96% (\pm 30 detik), lalu dibilas dengan akuades mengalir. Selanjutnya diberikan beberapa tetes larutan *safranin*, lalu dibiarkan selama 1 menit dan dibilas dengan akuades yang mengalir. Preparat dikeringkan dengan kertas saring atau diangin-anginkan sampai kering (Rhodina 1972).

Pengamatan Morfologi Isolat Bakteri:

Pengamatan morfologi koloni bakteri menggunakan mikroskop binokuler, meliputi parameter warna, tepi, tipe dan permukaan koloni pada koloni bakteri berumur 24 jam. Pengamatan mikroskopis menggunakan *preparat kering* yang telah diwarnai dengan pewarnaan *Gram* dengan menggunakan mikroskop (*Nikon Diaphot 300*, pada perbesaran 100 sampai 1000 kali).

Uji Viabilitas Bakteri pada media yang mengandung logam Hg

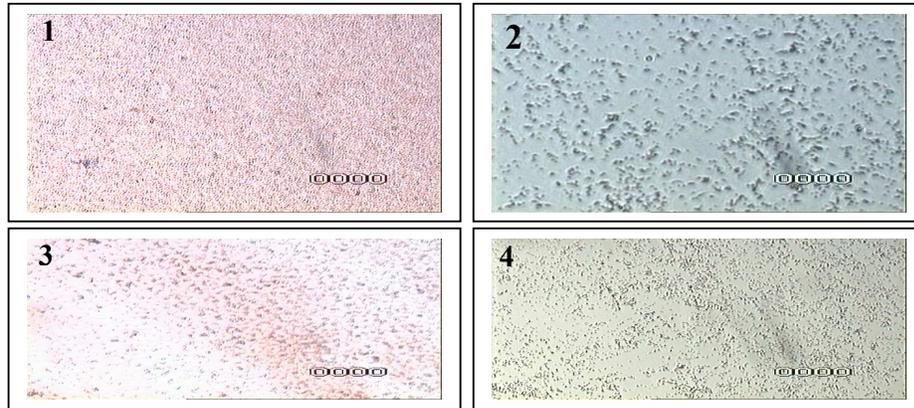
Isolat bakteri yang diuji ialah isolat dengan kode: *A.SI.3A* (berasal dari sampel air) dan isolat dengan kode: *SIII 5.1.2* (berasal dari sample sedimen). Masing-masing isolat uji diinokulasikan pada media *nutrient broth (NB)* yang mengandung logam berat Hg dengan konsentrasi 1,5 ppm, 3 ppm, 5 ppm, 7 ppm dan 10 ppm. Inkubasi menggunakan *shaker* dengan kecepatan 100 rpm selama 24 jam, pada suhu ruang. Untuk pengamatan pertumbuhan sel bakteri dilakukan pengukuran kerapatan optik (*OD*) pada panjang gelombang (λ) 600 nm. dengan *spektrofotometer*, pada kultur dengan masa inkubasi 0 jam dan 24 jam.

HASIL

Berhasil dimurnikan sebanyak 4 isolat bakteri yang berasal dari sampel air dan 11 isolat dari sedimen (Tabel 1). Berdasarkan hasil isolasi terlihat bahwa sedimen

sungai merupakan sumber isolat yang lebih potensial untuk mendapatkan koleksi isolat bakteri.

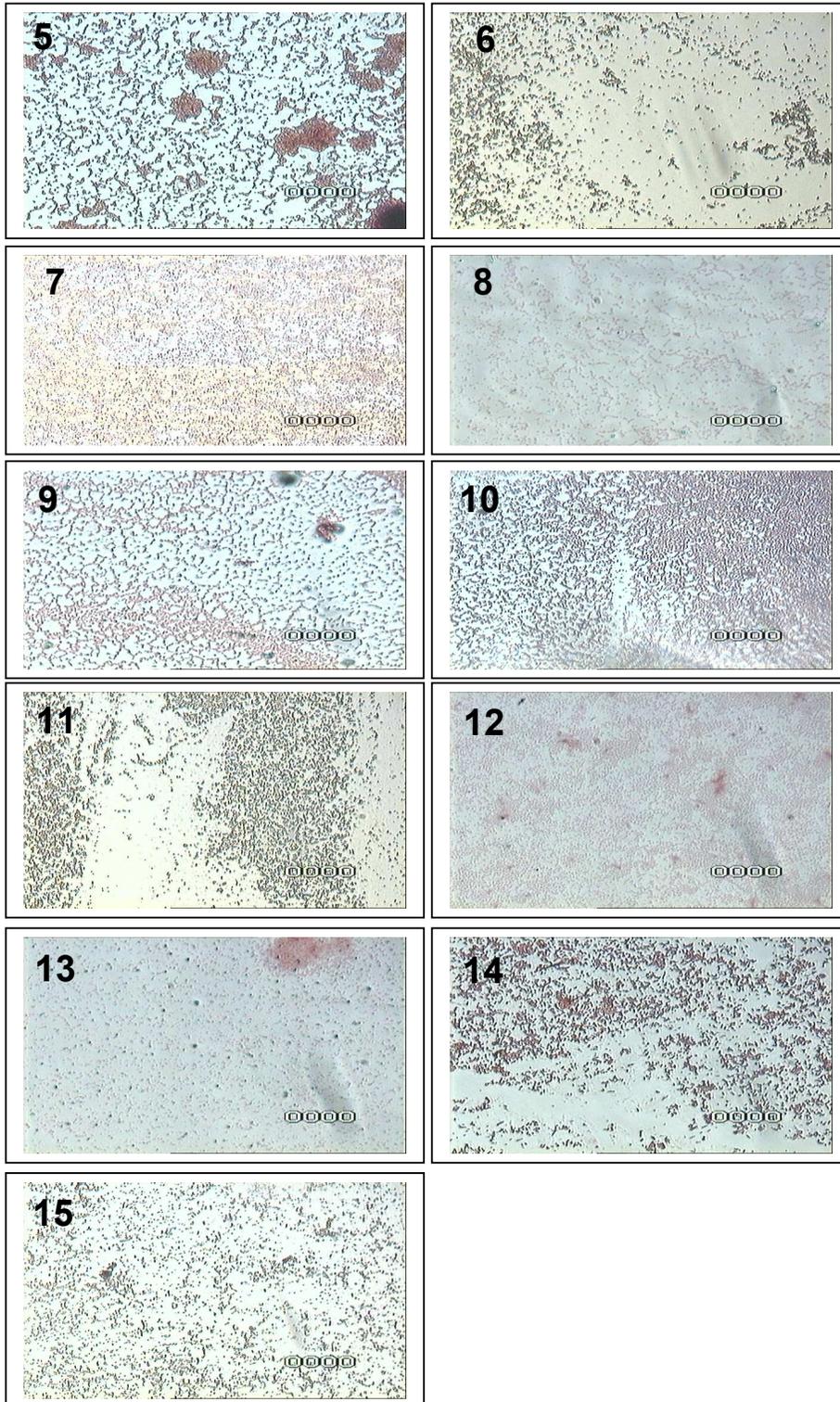
Hasil pewarnaan *Gram* dari 4 isolat bakteri asal air didapatkan 2 isolat *Gram negatif* dan 2 isolat *Gram positif* (Gambar 1), dan isolat asal sedimen didapatkan 5 isolat *Gram negatif* dan 6 isolat *Gram positif* (Gambar 2)



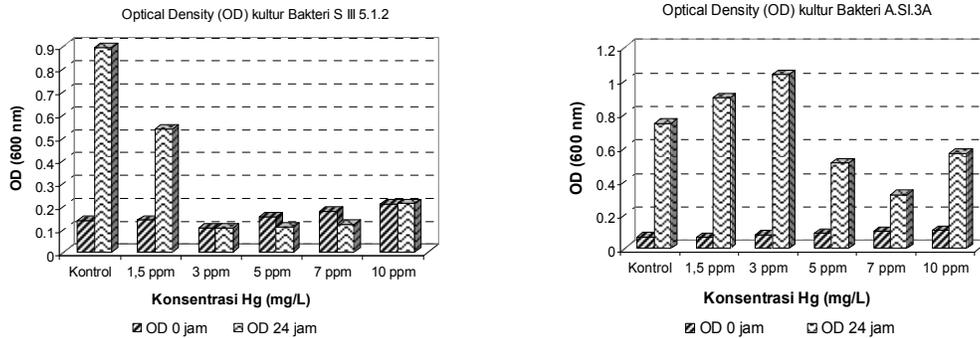
Gambar 1. Hasil pewarnaan *Gram* isolat bakteri asal air

Tabel 1. Hasil isolasi dan karakterisi isolat bakteri asal hilir Sungai Cisadane

No	Kode dan asal isolat	Karakterisasi koloni dan sel bakteri				Pewarnaan Gram dan bentuk sel
		Morfologi koloni			Permukaan	
		Tipe	Warna/pigmen	Tepi		
1	A.SI.3A, air	<i>Irregular</i>	Tepi: bening kejinggaan Tengah: jingga	<i>Lobate</i>	<i>Umbonate</i>	Negatif, bacill
2	A.SII.3X, air	<i>Circular</i>	Tepi: bening Tengah: putih krem	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>	Positif, coccus
3	A.SII.3Y, air	<i>Circular</i>	Tepi: bening Tengah: bening	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>	Negatif, bacill
4	A.SIII.2, air	<i>Irregular</i>	Tepi: putih krem Tengah: bening	<i>Undulate</i>	<i>Convex</i>	Positif, bacill
5	S III.4.KCB, sedimen	<i>Circular</i>	Krem dan Mengkilat	<i>Lobate</i>	<i>Convex</i>	Negatif, coccus
6	S III.3.TB, sedimen	<i>Rhizoid</i>	Krem dan Mengkilat	<i>Filamentous</i>	<i>Convex</i>	Positif, bacill
7	S III.5.BBZ, sedimen	<i>Circular</i>	Pinggir bening, tengah pudar	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>	Positif, bacill
8	S III.5.AT, sedimen	<i>Irregular</i>	Pinggir bening, tengah putih dan mengkilat	<i>Lobate</i>	<i>Convex</i>	Positif, bacill
9	S I.5.A, sedimen	<i>Circular</i>	Krem dan tidak mengkilap	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>	Negatif, bacill
10	S III.3.TR, sedimen	<i>Circular</i>	Bening agak keputihan dan tidak mengkilap	<i>Undulate</i>	<i>Flat</i>	Negatif, coccus
11	S I.7*, sedimen	<i>Circular</i>	Pinggir bening, tengah putih dan mengkilat	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	Positif, coccus
12	S III.5.1.2(2) sedimen	<i>Irregular</i>	Putih dan mengkilat	<i>Undulate</i>	<i>Raised</i>	Positif, coccus
13	S II.5.I, sedimen	<i>Irregular</i>	Pinggir bening, tengah putih dan mengkilat	<i>Undulate</i>	<i>Convex</i>	Negatif, bacill
14	S III.5.1.2, sedimen	<i>Circular</i>	Pinggir bening, tengah putih dan mengkilat	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>	Negatif, bacill
15	S III.4.LB sedimen	<i>Rhizoid</i>	Pinggir koloni mengkilat, tengah bening	<i>Filamentous</i>	<i>Flat</i>	Positif, bacill



Gambar 2. Hasil pewarnaan *Gram* isolat bakteri asal sedimen



Gambar 3. Uji Viabilitas isolat bakteri A.SI.3A dan S III 5.1.2 pada media yang mengandung logam berat merkuri

PEMBAHASAN

Bakteri sangat responsif terhadap keberadaan oksigen dilingkungannya. Apabila dibandingkan, isolat bakteri yang berhasil diisolasi dari kolom air lebih sedikit keragamannya dibanding dengan bakteri yang berhasil diisolasi dari sedimen. Hal ini dikarenakan bakteri yang hidup di kolom air kebanyakan bersifat aerob obligat, sedangkan bakteri yang hidup di sedimen ada yang bersifat anaerob obligat, anaerob fakultatif dan bakteri fermentatif. Selain itu diduga karena di sedimen terjadi akumulasi nutrisi (bahan organik) menyebabkan bakteri dapat tumbuh lebih baik. Hal ini mendukung penelitian Rheinheimer (1985) yang mengamati bakteri nitrifikasi, dimana perbandingan jumlah bakteri *nitrifikasi* di kolom air dengan di sedimen adalah 1: 2.

Perbedaan komposisi dinding sel bakteri terhadap pewarnaan *Gram* menyebabkan terjadinya reaksi *Gram* yang berbeda. Bakteri akan memberikan reaksi *Gram positif* dikarenakan dinding sel memiliki kandungan lipid yang rendah (1 – 4 %), ketebalan dinding selnya berkisar 15 - 80 nm, berlapis tunggal dan rentan terhadap penisilin dan gangguan fisik. Rendahnya kandungan lipid pada dinding selnya menyebabkan mudah terdehidrasi, sehingga pada pembilasan dengan alkohol menyebabkan pori-pori dinding sel mengecil dan permeabilitasnya berkurang, maka senyawa kompleks *Cristal violet-Yodium* (UK-I) tidak dapat terekstraksi dan warna ungu (violet) dari *crystal violet* terperangkap didalam dinding sel (reaksi *Gram positif*), (Pelczar & Chan 1986).

Bakteri *Gram negatif* memiliki kandungan lipid yang tinggi (11 – 22 %), struktur dinding sel yang tipis (10-15 nm) dan berlapis tiga, tahan terhadap penisilin dan gangguan fisik. Pembilasan dengan alkohol menyebabkan lipid terekstraksi sehingga pori-pori dinding sel membesar, maka kompleks *UK-I* (ungu kristal) yang telah terbentuk dan memasuki dinding sel dapat diekstraksi dan warna ungu menjadi hilang dan yang tertinggal warna merah dari safranin (reaksi *Gram negatif*), (PELCZAR & CHAN, 1986).

Berdasarkan pengamatan optical density (kerapatan optik), pertumbuhan isolat bakteri A.SI.3A (asal air) pada media yang mengandung logam Hg 1,5 ppm (OD 0,901) dan Hg 3 ppm (OD 1,04) lebih tinggi dari pada kontrol (OD 0,747), hal ini menunjukkan pertumbuhan isolat bakteri tidak mengalami penghambatan, namun pada media yang mengandung Hg 5 ppm (OD 0,51), 7 ppm (OD 0,32) dan 10 ppm (OD 0,507) terlihat terjadi penurunan, ini menunjukkan telah terjadi penghambatan pertumbuhan bakteri oleh logam Hg. Sedangkan isolat bakteri S III 5.1.2 (asal sedimen), pertumbuhannya mengalami hambatan pada media yang mengandung Hg, namun demikian terlihat isolat bakteri S III 5.1.2 masih dapat tumbuh pada media yang mengandung Hg 10 ppm.

Uji viabilitas menunjukan isolat bakteri A.SI.3A dan S III 5.1.2 mempunyai kemampuan daya tumbuh yang cukup baik pada media yang mengandung logam berat Hg. Diperkirakan kedua isolat bakteri tersebut dapat tumbuh dan mampu beradaptasi pada lingkungan ekstrim seperti pada sungai tercemar logam merkuri. Bakteri yang telah lama hidup di lingkungan tercemar logam maka bakteri tersebut akan mampu beradaptasi terhadap cemaran logam (Gaudy & Gaudy 1981).

Kedua isolat yang diuji bila dibandingkan terlihat bahwa isolat bakteri A.SI.3A mempunyai daya adaptasi dan daya tahan yang lebih baik dibanding isolat S III 5.1.2. Perbedaan kemampuan kedua isolat bakteri tersebut diduga berhubungan dengan karakteristik dari bakteri tersebut. Dengan demikian dari kedua isolat uji, isolat A.SI.3A dijadikan isolat terpilih untuk uji bioremoval logam berat merkuri.

Kemampuan adaptasi dan daya tahan mikroorganisme terhadap logam merkuri (Hg) berbeda-beda (Nofiani & Gusrizal 2004). Perbedaan ini berhubungan dengan mekanisme respon bakteri terhadap stress merkuri, yaitu: 1). penghambatan proses

metabolisme sel sehingga pertumbuhan sel lambat atau sel mati. 2). Menginduksi sistem operon resisten merkuri untuk bekerja sehingga sel tetap hidup dalam kondisi stress. Dan 3). Adanya plasmid yang mengandung gen resisten merkuri di dalam sel (Smith *et al.* 1998).

Bakteri mampu bertahan hidup pada lingkungan yang mengandung logam merkuri dapat terjadi karena bakteri memiliki *mer operon* (gen resisten merkuri) (Silver & Phung 1996), namun setiap jenis bakteri mempunyai struktur *mer operon* berbeda. Umumnya struktur *mer operon* terdiri dari gen metaloregulator (*merR*), gen transport merkuri (*merT*, *merP*, *merC*), gen merkuri reduktase (*merA*) dan organomerkuri liase (*merB*), (De 2004). Bakteri yang memiliki protein merkuri reduktase (*merA*) disebut bakteri resisten merkuri spektrum sempit. Beberapa bakteri selain memiliki protein merkuri reduktase (*merA*) juga memiliki protein organomerkuri liase (*merB*) yang berfungsi dalam mengkatalisis pemutusan ikatan merkuri-karbon sehingga dihasilkan senyawa organik dan ion Hg yang berupa garam tiol. Bakteri yang memiliki kedua protein merkuri reduktase (*merA*) dan protein organomerkuri liase (*merB*) disebut bakteri resisten merkuri spektrum luas (Silver & Phung 1996, Smith *et al.* 1998, De 2004).

Hasil identifikasi isolat uji A.SI.3A adalah *Bacillus megaterium*. Pemanfaatan bakteri untuk bioremoval logam berat, di antaranya penelitian yang dilakukan oleh ZEROUAL, *et al.*, (2001 dalam DE, 2004) ialah bakteri dari genus *Pseudomonas*, *Leptotrix*, *Klebsiella*, *Citrobacter* dan *Bacillus*. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Wagner-Dobler *et al.* (2000) menyatakan jenis *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas stutzeri* dan *Pseudomonas fulva* dapat digunakan dalam proses bioremoval logam merkuri (Hg) secara *in vitro*.

KESIMPULAN

Berhasil diisolasi sebanyak 4 isolat murni asal kolom air dan 11 isolat asal sedimen dari perairan hilir Sungai Cisadane. Isolat bakteri (*kode: A.SI.3A*) dijadikan sebagai isolat terpilih untuk agen bioremoval logam berat merkuri.

DAFTAR PUSTAKA

- Atlas, R. M. & R. Bartha. 1993. *Microbial Ecology. Fundamentals and Applications*. 3rd (Ed.). The Benjamin and Cummings Publishing Co. Inc, Redwood. 563 pp.
- Badjoeri, M., S. Larashati, M.S. Syawal, Awalina, Sugiarti, dan V. Indarwati. 2006. Kajian Potensi Bakteri Indigenous Sebagai Agen Bioremoval Senyawa Logam Pada Sistem Perairan Sungai Cisadane. *Laporan Hasil Penelitian*. Pusat Penelitian Limnologi LIPI, Cibinong, Bogor.
- Cappuccino, J.G & Sherman. N. 1996. *Microbiology : A Laboratory Manual*. 4th. Ed. The Benjamin and Cumming Publishing Company Inc, California.
- De, Jaysankar. 2004. Mercury-resistant Marine Bacteria and Their Role in Bioremediation of Certain Toxicants. *Thesis*. National Institute of Oceanography Goa University, India.
- Gaudy, A. F. & E. T. Gaudy. 1981. *Microbiology for Environmental Scientist and Engineers*. International Student Edition, McGraw-Hill International Book Company, Auckland. p 176-195.
- Nugroho. 2001. *Ekologi Mikroba pada Tanah Terkontaminasi Logam*. Institut Pertanian Bogor, Bogor. pp 13.
- Nofiani, R. & Gusrizal. 2004. Bakteri Resisten Sempit dari Daerah Bekas Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Mandor, Kalimantan Barat. *Jurnal Natur Indonesia*. 6(2) : 67-64.
- Putra, S. E. & Putra, J. A. 2005. Bioremediasi, Metode Alternatif untuk Menanggulangi Pencemaran Logam Berat.
- Rheinheimer, G. 1985. *Aquatic microbiology*. 3rd Ed. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons. Chichester. 257 pp.
- Rhodina, A. G. 1972. *Methods in Aquatic Microbiology*. University Park Press. Baltimore. 461 pp.
- Silver, S. & Phung, L.T. 1996. Bacterial Heavy Metal Resistance: new surprises. *Annual. Rev. Microbiol.* 50: p753-789.
- Smith, E., Wolters, A. & Elsas, J.D.V. 1998. Self Transmissible Mercury Resistance *Plasmids* with Gene Mobilizing Capacity in Soil Bactery Populations: Influence of Wheat Roots and Mercury Addition. *Appl. Environment. Microbiol.* 64 : 1210-1219.
- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme : Suatu Kajian Kepustakaan. Institute for Science and Technology Studies (ISTECS). Japan.
- Syawal, M.S. & Yustiawati. 2004. Kajian Pencemaran Merkuri Akibat Pengolahan Biji Emas di Sungai Cikaniki, Sub Das Cisadane, Bogor. *Laporan Hasil Penelitian*. Pusat Penelitian Limnologi LIPI.
- Vouck. 1986. *General Chemistry of Metal. Handbook on the Toxicology of Metal*. Elsvier. New York.
- Wagner-Dobler, H.V. Canstein, Y. Li, K. N. Timmis, & W.D. Deckwer. 2000. Removal of Mercury from Chemical Wastewater by Microorganisms in Technical Scale. *Environmental Science*. 34.
- Wild, A. 1995. *Soils and The Environment : An Introduction*. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain.