



Eksplorasi bakteri penyerap logam Pb dari air Sungai Ciujung

Fajri Ikhsan^a, Herayati Herayati^b, Syarif Abdullah^c, Yazid Rukmayadi^c

^aJurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jend. Sudirman Km. 03, Cilegon 42435, Indonesia

^bJurusan Teknik Kimia, Alamat, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jend. Sudirman Km. 03, Cilegon 42435, Indonesia

^cJurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jend. Sudirman Km. 03, Cilegon 42435, Indonesia

¹E-mail: fajri.ikhsan.039@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 01 Oktober 2020

Direvisi pada 10 Oktober 2020

Disetujui pada 27 November 2020

Tersedia daring pada 30 November 2020

Kata kunci:

Isolasi bakteri, bakteri penyerap Pb, biosorpsi.

Keywords:

Bacteria isolation, lead-resistant bacteria, biosorption.

ABSTRAK

Logam Pb merupakan logam berat pencemar lingkungan yang bersifat racun dan dapat menyebabkan berbagai penyakit diantaranya anemia, keterbelakangan mental, gangguan ginjal, dan beberapa penyakit kardiovaskular. Oleh sebab itu, diperlukan adanya agen penyerap logam Pb dari lingkungan yang tercemar. Salah satu agen alternatif penyerapan logam berat dari lingkungan yang tercemar adalah bakteri. Pada penelitian ini dilakukan eksplorasi bakteri penyerap logam Pb dari air Sungai Ciujung, Serang, Banten. Eksplorasi tersebut dilakukan dengan cara mengisolasi bakteri-bakteri yang mempunyai daya tahan terhadap logam Pb dari sampel air Sungai Ciujung. Isolasi dimulai dengan penapisan bakteri dari sampel air yang dilakukan pada medium padat *nutrient agar* (NA) yang mengandung 10 ppm logam Pb dengan metode *spread plate*. Beberapa koloni bakteri yang berhasil tumbuh pada tahap penapisan, diisolasi dan dimurnikan dengan metode *streaking* pada medium NA padat + 10 ppm Pb berdasarkan morfologinya. Tahap isolasi dan purifikasi tersebut menghasilkan 7 isolat bakteri yang diketahui mempunyai daya tahan terhadap logam Pb dan dinamai sebagai isolat IA2, IA3, IA4, IA₂1, IA₂2, IA₂3, dan IA₂4.

ABSTRACT

Lead (Pb) is a kind of heavy-metal pollutant which has toxic characteristic. Acute exposure of lead induces anemia, down syndrome, kidney damage, and some of cardiovascular diseases. Adsorption agent is required to adsorb lead (Pb) from lead-polluted environment. The suggested-alternative agent is bacteria. In this research, the lead (Pb) resistant bacteria have been isolated and purified from the water of Ciujung river, Serang, Banten. The isolation is started with screening the bacteria from the water sample on NA agar plate supplemented with lead (Pb) 10 ppm by spread plate method. The bacteria that could grow in the screening stage are isolated and purified on other NA agar plate supplemented with lead (Pb) 10 ppm by streaking method. This research resulted 7 bacteria named as IA2, IA3, IA4, IA₂1, IA₂2, IA₂3, and IA₂4 isolate.

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v16i2.9338>

1. Pendahuluan

Seiring dengan berkembangnya dunia industry, berkembang pula konskuensi-konsekuensi dari kegiatan industri tersebut, diantaranya yaitu berkembangnya penggunaan logam berat dalam proses industri yang akan menimbulkan pencemaran lingkungan. Meski beberapa industri menghasilkan limbah logam berat, namun keberadaan logam berat di lingkungan tidak hanya berasal dari aktifitas industri saja, melainkan dapat berasal dari proses penambangan dan peleburan, pembakaran bahan bakar fosil, pupuk fosfat, pestisida yang menggunakan logam, erupsi gunung berapi, serta pelapukan batuan yang mengandung logam [1].

Meski beberapa logam berat bersifat esensial, keberadaan logam berat di lingkungan dalam kadar berlebih dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang berbahaya. Pencemaran logam berat tersebut berbahaya baik bagi biota maupun manusia yang berada disekitar lingkungan tersebut. Logam berat adalah polutan yang berbahaya karena logam berat bersifat toksik dan bisa terakumulasi di dalam rantai makanan [2]. Selain bersifat toksik dan bisa terakumulasi, logam berat juga bersifat tahan terhadap degradasi lingkungan (persistent). Beberapa logam berat juga dilaporkan bersifat karsinogenik, mutagenik, dan teratogenik terhadap beberapa spesies tergantung kadar dan lama waktu paparannya. Logam-logam berat beracun yang paling umum



diketahui yaitu timbal (Pb), kadmium (Cd), tembaga (Cu), krom (Cr), merkuri (Hg), seng (Zn), dan aluminium (Al) [3, 4]. Selain menyebabkan kanker dan kerusakan gen, beberapa logam berat dilaporkan bisa menyebabkan diabetes, hipertensi, aterosklerosis dan inflamasi [5].

Logam timbal (Pb) adalah logam yang secara alami terdapat di alam. Keberadaan timbal di alam bisa berasal dari berbagai proses geokimia dan proses antropogenik. Dari aktifitas antropogenik, timbal bisa dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar yang mengandung timbal, aktifitas pertambangan, dan proses manufaktur yang menggunakan timbal. Beberapa industri yang akrab dengan penggunaan timbal di dalam proses manufakturnya yaitu industri pembuatan keramik, pembuatan baterai, manufaktur pigmen, pembuatan pestisida, zat aditif bahan bakar, material fotografi, pembuatan bahan peledak, industri *coating*, industri otomotif, industri pesawat terbang, serta penambangan logam dan insenerator [6-10]. Logam timbal adalah logam yang mempunyai titik lebur rendah dan mempunyai sifat kimia yang aktif [11]. Sifat ini membuat timbal mampu bersenyawa dengan banyak senyawa kimia lainnya. Selain itu sifat timbal yang mempunyai titik lebur yang rendah membuat timbal juga bisa menguap dengan mudah. Hal ini menyebabkan keberadaan timbal tidak hanya ada di tanah, dimana timbal juga bisa berada di dalam air maupun udara.

Sifat logam timbal yang mempunyai titik lebur yang rendah dan mempunyai sifat kimia yang aktif membuat timbal mudah sekali memapar manusia. Paparan timbal yang utama pada manusia terjadi melalui sistem pernafasan dan pencernaan. Paparan timbal melalui sistem pernafasan terjadi dikarenakan aktivitas manusia yang tanpa sengaja menghirup partikel debu dan aerosol yang terkontaminasi timbal, sedangkan paparan timbal melalui sistem pencernaan terjadi dikarenakan aktifitas manusia mengkonsumsi makanan dan air yang tanpa diketahui sudah terkontaminasi timbal [12-13]. Orang dewasa menyerap timbal 35-50% melalui air yang tercemar timbal, sedangkan penyerapan timbal oleh anak-anak sebagian besar dapat berasal dari air terkontaminasi timbal yang mereka konsumsi. Timbal yang terserap ke dalam tubuh manusia sebagian besar disimpan dan mengendap di dalam ginjal. Setelah hati, bagian tubuh manusia yang menyimpan timbal dengan persentase terbesar berikutnya adalah hati, jantung, dan otak. Pengendapan timbal dalam jumlah besar dalam bagian-bagian tubuh manusia dapat menimbulkan beberapa penyakit klinis diantaranya anemia, keterbelakangan mental, gangguan ginjal, dan beberapa penyakit kardiovaskular. Penelitian menunjukkan, pada anak-anak, pengendapan timbal dalam jumlah besar di dalam tubuh bisa menyebabkan keracunan darah, penurunan intelegensi, keterlambatan perkembangan syaraf, gangguan pendengaran, gangguan berbicara, gangguan berbahasa, gangguan konsentrasi, dan antisosial. Pada orang dewasa, gangguan reproduksi seperti penurunan kualitas sperma dan keguguran tanpa sebab juga bisa berhubungan dengan konsentrasi timbal yang tinggi di dalam tubuh [14].

Penemuan pengendapan kadar timbal yang melebihi ambang batas normal dalam tubuh manusia sudah ditemukan di berbagai negara seperti di Amerika Serikat [15], Iran [16], Palestina [17], China [18], dan Nigeria [19]. Beberapa kasus bahkan sudah berakhir dengan munculnya penyakit medis bahkan kematian. Di Nigeria, kasus keracunan timbal dari industri penambangan emas sudah membunuh 400 sampai 500 anak. Di Indonesia, beberapa penelitian juga sudah dilakukan untuk melihat paparan logam timbal di dalam tubuh manusia. Sebuah penelitian yang dilakukan pada sejumlah anak-anak yang bersekolah di Jakarta menunjukkan bahwa 35% dari anak yang diteliti mempunyai *blood lead levels* (BLLs) lebih dari 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$. Bahkan seperempat dari jumlah anak yang diteliti tersebut memiliki BLLs 10–14.9 $\mu\text{g}/\text{dl}$ [20]. Kadar ini melebihi kadar aman yang ditetapkan oleh Pusat Pengontrolan dan Pencegahan Penyakit USA yaitu 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$. Penelitian yang dilakukan di Semarang pada tahun 1997 menunjukkan kadar timbal yang tinggi di udara pada daerah perkotaan, jalan raya, dan pemukiman. Di daerah industri kadar timbal yang ditemukan di udara lebih tinggi dari tiga wilayah yang sudah disebut sebelumnya [21]. Penelitian tersebut menyebut kadar timbal di udara yang tinggi tersebut belum pernah dilaporkan terjadi di Indonesia.

Beberapa metode sudah dikembangkan untuk menyerap logam berat dari lingkungan. Metode-metode tersebut dapat dibagi menjadi metode kimia dan metode fisika [22]. Beberapa cara yang dikembangkan dari metode kimia yaitu pengendapan kimia, elektrokimia, dan oksidasi/reduksi. Beberapa cara yang dikembangkan dari metode fisika yaitu *ion exchange*, teknologi membran, *reverse osmosis*, *evaporation recovery* dan penyaringan. Meski demikian, penyerapan logam berat dari lingkungan menggunakan metode kimia dan metode fisika mempunyai kekurangan. Diantara kekurangan metode kimia dan fisika tersebut yaitu membutuhkan biaya operasional dan instalasi alat yang tinggi, menghasilkan lumpur yang banyak dan membutuhkan pengolahan lanjutan serta biaya yang tinggi untuk pembuangan lumpur tersebut [23]. Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut diberikan solusi alternatif dengan menggunakan teknik biosorpsi untuk menyerap logam berat dari lingkungan. Teknik biosorpsi adalah teknik penyerapan logam berat dari lingkungan dengan menggunakan agen biologi. Beberapa kelebihan biosorpsi yaitu ramah lingkungan, biaya rendah, dan memiliki efisiensi yang tinggi. Salah satu agen yang biasa digunakan dalam biosorpsi adalah bakteri.

Dalam penelitian ini dilakukan eksplorasi bakteri penyerap logam Pb dari air Sungai Ciujung, Serang, Banten. Eksplorasi dilakukan dengan cara melakukan isolasi bakteri-bakteri yang mempunyai daya tahan terhadap logam Pb. Bakteri-bakteri yang berhasil diisolasi sebagai bakteri tahan logam Pb berpotensi untuk dijadikan kandidat agen biosorpsi dalam penyerapan logam Pb. Bakteri-bakteri tahan logam berat diketahui mempunyai kemampuan dalam menyerap logam berat.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan di daerah aliran Sungai Ciujung, tepatnya di sekitar jembatan Ciujung desa Kragilan, Kecamatan Kragilan, Kabupaten Serang, Banten. Denah lokasi pengambilan sampel ditampilkan pada Gambar 1. Daerah aliran Sungai Ciujung adalah daerah aliran sungai yang berdekatan dengan beberapa industri yang proses dan produknya berhubungan dengan penggunaan logam berat. Sebuah penelitian pernah dilakukan untuk melihat sebaran logam berat di daerah aliran Sungai Ciujung [24]. Penelitian tersebut membagi wilayah sampling dengan penamaan daerah hulu, daerah industri 1, daerah industri 2, dan daerah hilir.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel penelitian. Tanda  merupakan titik pengambilan sampel.

Titik pengambilan sampel yang ditunjukkan pada Gambar 1 di dalam pembagian wilayah sampling pada penelitian ini masuk pada wilayah daerah industri 1, dimana sebaran logam berat, termasuk Pb, paling banyak terdapat di daerah ini. Sampel air diambil dengan menggunakan beberapa botol steril dengan metode pengambilan langsung. Pada saat pengambilan sampel, mulut botol diarahkan berlawanan dengan aliran air. Sampel air yang didapat kemudian dibawa ke laboratorium dan disimpan di dalam kulkas sampai pada saat akan digunakan. Gambar 2 memperlihatkan contoh sampel air yang berhasil diambil di Sungai Ciujung yang kemudian digunakan dalam penelitian.



Gambar 2. Sampel air Sungai Ciujung yang digunakan dalam penelitian.

2.2. Isolasi Bakteri Tahan Logam Pb

Sebanyak 1 mL sampel air sungai Ciujung yang sudah dipersiapkan dimasukkan ke dalam 9 mL medium cair *nutrient broth* (NB) yang sudah ditambahkan larutan $PbCl_2$ dengan konsentrasi akhir di dalam medium adalah 10 ppm Pb. Hasil kultivasi tersebut diinkubasi selama 3 hari di dalam inkubator penggojok pada suhu $37^\circ C$ dengan kecepatan penggojokan 150 rpm. Bakteri yang berhasil tumbuh kemudian diambil sebanyak 100 μL dan dikultivasi dengan metode *spread plate* pada medium padat *nutrient agar* (NA) yang sudah ditambahkan larutan $PbCl_2$ dengan konsentrasi akhir di dalam medium adalah 10 ppm Pb. Hasil kultivasi tersebut kemudian diinkubasi selama 3 hari di dalam inkubator pada suhu $37^\circ C$. Koloni bakteri yang berhasil tumbuh merupakan koloni bakteri yang tahan terhadap logam Pb.

2.3. Pemurnian Bakteri

Koloni-koloni bakteri yang berhasil tumbuh pada tahap isolasi kemudian dimurnikan dengan metode *streaking* [25]. Koloni-koloni yang tumbuh pada tahap isolasi dipilih berdasarkan morfologinya yang meliputi bentuk koloni, warna koloni, permukaan koloni, tepi koloni, dan ukuran koloni. Koloni-koloni bakteri yang berbeda diambil dengan menggunakan kawat ose dan dikultivasi dengan cara *digores* pada medium padat NA yang sudah mengandung 10 ppm logam Pb. Hasil kultivasi kemudian diinkubasi selama 3 hari di dalam inkubator pada suhu $37^\circ C$. Koloni-koloni bakteri yang tumbuh pada masing-masing medium adalah bakteri tahan logam Pb yang merupakan isolat murni.

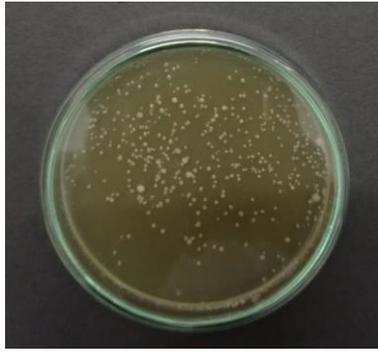
3. Hasil dan Diskusi

Mikroba adalah makhluk hidup berukuran mikron yang mempunyai banyak manfaat. Beberapa mikroorganisme diketahui mempunyai kemampuan untuk menghasilkan enzim [26], biofuel [27], dan gas hidrogen [28]. Beberapa mikroorganisme juga dilaporkan bisa dimanfaatkan untuk proses bioremediasi lingkungan yang tercemar logam berat dan pengolahan air limbah dengan cara penyerapan logam berat yang mencemari lingkungan atau yang terdapat dalam air limbah [29]. Proses penyerapan logam dari lingkungan tercemar atau air limbah menggunakan mikroorganisme ini disebut biosorpsi.

Proses remediasi dengan memanfaatkan agen biologi merupakan salah satu solusi yang ditawarkan untuk mengatasi kekurangan proses remediasi dengan menggunakan metode kimia maupun metode fisika. Beberapa kelebihan remediasi dengan menggunakan mikroorganisme yaitu memerlukan biaya yang lebih murah dalam produksi biomassa, menggunakan biomassa dalam menyerap logam berat, menyerap logam berat berkali-kali dalam satu waktu, mampu digunakan untuk air limbah dengan volume besar, tidak membutuhkan penambahan zat kimia dalam penyerapan dan pelepasan logam berat, berlaku dalam rentang kondisi yang luas, murah dan mudah dalam pelepasan logam berat yang sudah terikat ke biomassa, serta mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan [22]. Salah satu mikroorganisme yang bisa digunakan sebagai agen biosorpsi adalah bakteri. Pada penelitian ini dilakukan eksplorasi bakteri yang mampu menyerap logam berat timbal (Pb). Bakteri yang mampu menyerap logam berat dari lingkungan diketahui mempunyai daya tahan terhadap logam berat tersebut.

3.1. Isolasi Bakteri Tahan Logam Pb

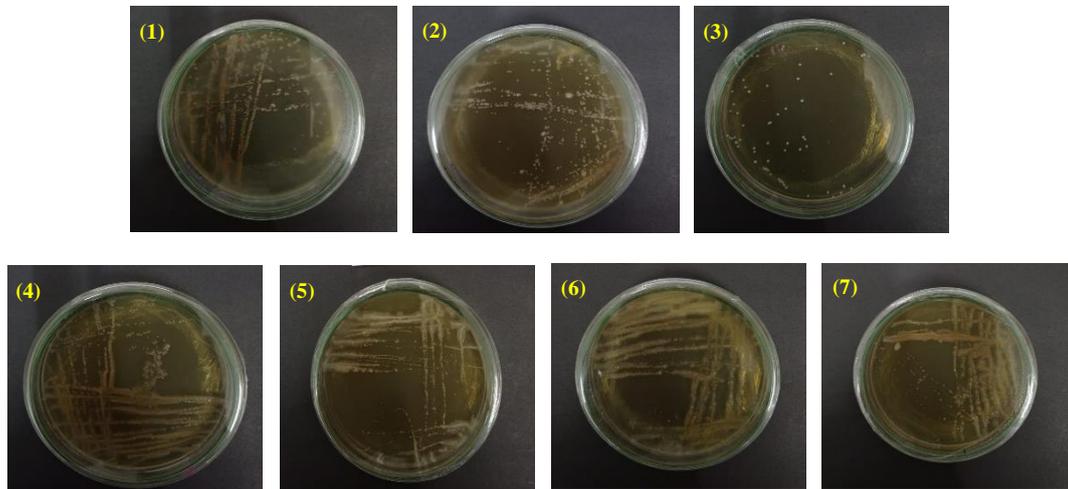
Bakteri tahan logam Pb diisolasi dari sampel air sungai Ciujung, Serang, Banten. Sejumlah sampel air dimasukkan ke dalam medium cair NB yang mengandung 10 ppm logam Pb dan diinkubasi selama 3 hari. Bakteri yang berhasil tumbuh di dalam medium NB tersebut kemudian dilakukan inokulasi pada medium padat NA yang mengandung 10 ppm logam Pb dan diinkubasi selama 3 hari. Tahap ini menghasilkan koloni campuran beberapa bakteri seperti dapat dilihat pada Gambar 3. Bakteri-bakteri yang berhasil tumbuh pada medium padat NA tersebut adalah bakteri-bakteri yang mempunyai daya tahan terhadap logam Pb. Bakteri-bakteri tersebut kemudian dimurnikan pada tahap berikutnya.



Gambar 3. Koloni beberapa bakteri tahan logam Pb hasil isolasi.

3.2. Pemurnian Bakteri

Koloni campuran beberapa bakteri yang berhasil tumbuh pada tahap isolasi dimurnikan dengan metode *streaking* pada beberapa medium NA padat yang terpisah. Medium NA padat yang digunakan adalah medium NA yang sudah ditambahkan 10 ppm logam Pb. Koloni-koloni yang berbeda dipilah berdasarkan morfologinya. Pada tahap pemurnian ini didapatkan 7 isolat bakteri yang mempunyai kemampuan tumbuh pada medium yang mengandung 10 ppm logam Pb seperti dapat dilihat pada Gambar 4. Ketujuh isolat tersebut diberi nama sebagai isolat IA2, IA3, IA4, IA₂1, IA₂2, IA₂3, dan IA₂4. Ketujuh isolat tersebut adalah isolat-isolat bakteri yang mempunyai daya tahan terhadap logam Pb. Beberapa bakteri sudah mengembangkan mekanisme detoksifikasi dan respirasi yang menggunakan logam berat yang menyebabkan mikroorganisme tersebut mempunyai daya tahan terhadap logam berat. Mikroorganisme tersebut adalah mikroorganisme yang hidup di lingkungan yang mengandung logam berat dan sudah beradaptasi dengan lingkungan tersebut.



Gambar 4. 7 isolat bakteri tahan logam Pb hasil pemurnian. (1) Isolat IA2, (2) Isolat IA3, (3) Isolat IA4, (4) Isolat IA₂1, (5) Isolat IA₂2, (6) Isolat IA₂3, (7) Isolat IA₂4.

Beberapa jenis bakteri dilaporkan memiliki aktifitas penyerapan terhadap logam Pb. Bakteri-bakteri tersebut berasal dari beberapa genus yang berbeda. Beberapa bakteri yang sudah dilaporkan mempunyai kemampuan untuk menyerap logam Pb yaitu *Bacillus* sp. (ATS-1), *Corynebacterium glutamicum*, *Enterobacter* sp. J1, *Pseudomonas aeruginosa* ASU 6a, *Pseudomonas aeruginosa* PU21, *Pseudomonas aeruginosa* PU21, *Pseudomonas putida*, *Streptomyces rimosus*, *Streptovorticillium cinnamomeum*, dan *Symphortcarpus albus* [30]. Mikroorganisme mampu bertahan dalam lingkungan dengan kadar logam berat yang tinggi bergantung pada kemampuan detoksifikasi mikroorganisme tersebut [31]. Penelitian menunjukkan bahwa mikroorganisme mempunyai kemampuan tumbuh yang berbeda-beda di dalam lingkungan yang mengandung logam berat. Bakteri dari genus *Halobacillus* mempunyai kemampuan tumbuh di dalam lingkungan yang mengandung logam Pb sampai pada konsentrasi 900 ppm, sedangkan bakteri dari genus *Vibrio* mempunyai kemampuan tumbuh di dalam lingkungan yang mengandung logam Pb sampai pada konsentrasi 800 ppm [32].

Bakteri memiliki mekanisme yang berbeda-beda dalam toleransi dan dalam proses bioremediasi logam berat dari lingkungan. Beberapa mekanisme yang sudah diketahui digunakan oleh bakteri dalam mentoleransi kadar logam berat yang juga digunakan sebagai mekanisme untuk bioremediasi logam berat diantaranya presipitasi atau pengendapan, volatilisasi, system efflux yang dibantu oleh ATP, bioakumulasi intraseluler, dan biosorpsi pada permukaan sel. Isolat-isolat bakteri yang berhasil didapat dalam penelitian ini adalah isolat-isolat bakteri yang mempunyai daya tahan terhadap logam Pb. Isolat-isolat bakteri yang didapat pada penelitian ini berpotensi untuk digunakan sebagai agen bioremediasi alternatif untuk penyerapan logam berat dari lingkungan yang tercemar logam Pb maupun limbah-limbah industri yang mengandung logam Pb.

4. Kesimpulan

Bakteri adalah salah satu mikroorganisme yang diketahui mempunyai kemampuan bertahan hidup di lingkungan yang mengandung logam berat. Kemampuan tersebut berhubungan dengan kemampuan bakteri tersebut menyerap logam berat tersebut dari lingkungan dan mengembangkan mekanisme selnya untuk mampu bertahan terhadap logam berat tersebut. Kemampuan bakteri untuk menyerap logam berat dari lingkungan dan bertahan terhadap konsentrasi logam tersebut bisa dimanfaatkan untuk proses bioremediasi lingkungan yang tercemar logam berat maupun dari limbah industri yang mengandung logam berat. Salah satu logam berat yang berbahaya bagi kesehatan jika berada dalam jumlah banyak dilingkungan adalah logam Pb. Logam

Pb adalah logam yang bersifat toksik yang jika masuk ke dalam tubuh manusia dan mengendap dalam jumlah banyak bisa menimbulkan banyak penyakit medis. Pada penelitian ini dilakukan eksplorasi bakteri-bakteri yang tahan terhadap logam Pb dari air sungai Ciujung, Serang, Banten. Hasil penelitian didapatkan 7 isolat bakteri yang mempunyai daya tahan terhadap logam Pb yang dinamai dengan isolat IA2, IA3, IA4, IA₁, IA₂, IA₃, dan IA₄. Ketujuh isolat bakteri tersebut berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai agen biologi untuk bioremediasi lingkungan yang tercemar logam Pb dan limbah industri yang mengandung logam Pb.

Ucapan Terima Kasih

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada pemerintah Indonesia melalui Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan dana bantuan penelitian Hibah Internal PDP tahun 2020. Berkat bantuan dana tersebut tim peneliti bisa melakukan penelitian ini dengan baik dengan hasil yang sangat memuaskan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *J. Chem.*, vol. 2019, pp. 1–14. doi: 10.1155/2019/6730305.
- [2] Mahapatra, B., Dhal, N. K., Pradhan, A., & Panda, B. P. (2020). Application of bacterial extracellular polymeric substances for detoxification of heavy metals from contaminated environment: A mini-review. *Mater. Today Proc.*, vol. 30, no. 2, pp. 283–288, 2020. doi: 10.1016/j.matpr.2020.01.490.
- [3] Manoj, S. R., Karthik, C., Kadirvelu, K., Arulselvi, P. I., Shanmugasundaram, T., Bruno, B., Rajkumar, M. (2020). Understanding the molecular mechanisms for the enhanced phytoremediation of heavy metals through plant growth promoting rhizobacteria: A review. *J. Environ. Manage.*, vol. 254, pp. 109779. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109779.
- [4] Xia, F., Qu, L., Wang, T., Luo, L., Chen, H., Dahlgren, R. A., Zhang, M., Mei, K., & Huang, H. (2018). Distribution and source analysis of heavy metal pollutants in sediments of a rapid developing urban river system. *Chemosphere*, vol. 207, pp. 218–228. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.05.090.
- [5] Yang, A., Lo, K., Zheng, T.-Z., Yang, J.-L., Bai, Y.-N., Feng, Y.-Q., Cheng, N., & Liu, S.-M. (2020). Environmental heavy metals and cardiovascular diseases: Status and future direction,” *Chronic Dis. Transl. Med.*, vol. 6, no. 4, pp. 251–259. doi: 10.1016/j.cdtm.2020.02.005.
- [6] Selatnia, A., Boukazoula, A., Kechid, N., Bakhti, M. Z., Chergui, A. & Kerchich, Y. (2004). Biosorption of lead (II) from aqueous solution by a bacterial dead *Streptomyces rimosus* biomass. *Biochem. Eng. J.*, vol. 19, no. 2, pp. 127–135. doi: 10.1016/j.bej.2003.12.007.
- [7] Bueno, B. Y. M., Torem, M. L., Molina, F., & de Mesquita, L. M. S. (2008). Biosorption of lead(II), chromium(III) and copper(II) by *R. opacus*: Equilibrium and kinetic studies,” *Miner. Eng.*, vol. 21, no. 1, pp. 65–75. doi: 10.1016/j.mineng.2007.08.013.
- [8] Ren, G., Jin, Y., Zhang, C., Gu, H., & Qu, J. (2015). Characteristics of *Bacillus* sp. PZ-1 and its biosorption to Pb(II). *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 117, pp. 141–148, 2015. doi: 10.1016/j.ecoenv.2015.03.033.
- [9] Ma, Y., Wang, P., Wang, C., Zhang, S. H., & Cheng, S. (2015). Isolation and characterization of Pb-resistant strains and the removal of Pb(II),” *Fresenius Environ. Bull.*, vol. 24, no. 3, pp. 1150–1157.
- [10] Pepi, M., Borra, M., Tamburrino, S., Saggiomo, M., Viola, A., Biffali, E., Balestra, C., Sprovieri, M., & Casotti, R. (2016). A *Bacillus* sp. isolated from sediments of the Sarno River mouth, Gulf of Naples (Italy) produces a biofilm biosorbing Pb(II). *Sci. Total Environ.*, vol. 562, pp. 588–595. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.097.
- [11] Adhani, R., & Husaini, H. (2017). *Buku Logam Berat Sekitar Manusia*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- [12] ATSDR. (2015). *Lead Toxicity Case Studies in Environmental Medicine*. Atlanta: U.S Department of Health and Human Service.
- [13] ATSDR. (2020). *Toxicological Profile for Lead*. Atlanta: U.S Department of Health and Human Service.
- [14] Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, clinical and environmental toxicology*, vol. 101, pp. 133–164.
- [15] Stierman, B., Hauptman, M., & Woolf, A. D. (2020). Severe lead poisoning requiring hospitalization: A case report. *Curr. Probl. Pediatr. Adolesc. Health Care*, vol. 50, no. 2, pp. 100757. doi: 10.1016/j.cppeds.2020.100757.
- [16] Okhovat, A. A., Ansari, B., Basiri, K., & Fatehi, F. (2020). Neuromuscular manifestations of lead poisoning in opium and herbal users in Iran. *Rev. Neurol. (Paris)*, vol. 176, no. 10, pp. 856–863. doi: 10.1016/j.neurol.2019.12.004.
- [17] Safi, J. M., Yassin, M. M., El-Nahhal, Y. Z., Abed, Y. A., Safi, M. J., & Suleiman, H. D. (2019). Childhood lead poisoning in Gaza Strip, the Palestinian Authority. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, vol. 54, pp. 118–125. doi: 10.1016/j.jtemb.2019.04.004.
- [18] Chen, L., Zhao, Q. N., Qian, X. R., Zhu, B. L., Ding, E. M., Wang, B. S., Zhang, H. D., & Yang, H. (2018). Association between the HOTAIR polymorphism and susceptibility to lead poisoning in a Chinese Population. *J. Biomedical and Environmental Sciences*, vol. 31, no. 6, pp. 473–478. doi: 10.3967/bes2018.063.
- [19] Tirima, S., Bartrem, C., von Lindern, I., von Braun, M., Lind, D., Anka, S. M., & Abdullahi, A. (2018). Food contamination as a pathway for lead exposure in children during the 2010–2013 lead poisoning epidemic in Zamfara, Nigeria. *J. Environ. Sci.*, vol. 67, pp. 260–272. doi: 10.1016/j.jes.2017.09.007.
- [20] Albalak, R., Noonan, G., Buchanan, S., Flanders, W. D., Gotway-Crawford, C., Kim, D., Jones, R. L., Sulaiman, R., Blumenthal, W., Tan, R., Gerald, C., & McGeehin, M. A. (2003). Blood lead levels and risk factors for lead poisoning among children in Jakarta, Indonesia. *Sci. Total Environ.*, vol. 301, no. 1–3, pp. 75–85. doi: 10.1016/S0048-9697(02)00297-8.
- [21] Browne, D. R., Husni, A., & Risk, M. J. (1999). Airborne lead and particulate levels in Semarang, Indonesia and potential health impacts. *Sci. Total Environ.*, vol. 227, no. 2–3, pp. 145–154. doi: 10.1016/S0048-9697(99)00022-4.
- [22] Shamim, S. (2018). Biosorption of heavy metals. In *Biosorption by Derco, J., Vrana, B. Slovakia: IntechOpen*, 2018. doi: 10.5772/intechopen.72099.
- [23] Ratnawati, E., Ermawati, R., & Naimah, S. (2010). Teknologi biosorpsi oleh mikroorganisme, solusi alternatif untuk mengurangi pencemaran logam berat. *J. Kim. dan Kemasan*, vol. 32, no. 1, pp. 34–40. doi: 10.24817/jkk.v32i1.2739.

- [24] Mulyanisngsih, T. R., Alfian, A., & Sutisna, S. (2012). Distribution of heavy metals in sediments of the Cijung watersheds Banten. *J. Teknol. Reakt. Nukl.*, vol. 14, no. 3, pp. 157–169.
- [25] Marzan, L. W., Hossain, M., Mina, S. A., Akter, Y., & Chowdhury, A. M. M. A. (2017). Isolation and biochemical characterization of heavy-metal resistant bacteria from tannery effluent in Chittagong city, Bangladesh: Bioremediation viewpoint. *Egypt. J. Aquat. Res.*, vol. 43, no. 1, pp. 65–74. doi: 10.1016/j.ejar.2016.11.002.
- [26] Ikhsan, F., & Ratnaningsih, E. (2020). Cloning, sequencing, and identification of rhd α -subunit gene of haloaromatic dehalogenase terminal oxygenase from *Pseudomonas aeruginosa* local strain. *Malaysian Appl. Biol.*, vol. 49, no. 2, pp. 43–48.
- [27] Carrillo-Reyes, J., Barragán-Trinidad, M., & Buitrón, G. (2016). Biological pretreatments of microalgal biomass for gaseous biofuel production and the potential use of rumen microorganisms: A review. *Algal Res.*, vol. 18, pp. 341–351. doi: 10.1016/j.algal.2016.07.004.
- [28] Bolatkhan, K., Kossalbayev, B. D., Zayadan, B. K., Tomo, T., Veziroglu, T. N., & Allakhverdiev, S. I. (2019). Hydrogen production from phototrophic microorganisms: Reality and perspectives. *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 12, pp. 5799–5811. doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.01.092.
- [29] Sakaguchi, T., Horikosh, T., & Nakajima, A. (1977). Uptake of Copper Ion by *Chlorella regularis* (Studies on the accumulation of heavy metal elements in biological systems part I). *Nippon Nageikagaku Kaishi*, vol. 51, no. 8, pp. 497–505. doi: 10.1271/nogeikagaku1924.51.8_497.
- [30] Yun, Y.-S., Vijayaraghavan, K., & Won, S. W. (2011). Bacterial biosorption and biosorbents. In *Microbial Biosorption of Metals*, P. Kotrba, M. Mackova, and T. Macek, Eds, pp. 121–141. doi: 10.1007/978-94-007-0443-5_5. Prague: Springer Science+Business Media B. V.
- [31] Sá-Pereira, P., Rodrigues, M., Simões, F., Domingues, L., & e Castro, I. V. (2009). Bacterial activity in heavy metals polluted soils: Metal efflux systems in native rhizobial strains. *Geomicrobiol. J.*, vol. 26, no. 4, pp. 281–288. doi: 10.1080/01490450902892647.
- [32] De Fretes, C. E., Sutiknowati, L. I., & Falahudin, D. (2019). Isolasi dan identifikasi bakteri toleran logam berat dari sedimen mangrove di Pengudang dan Tanjung Uban, Pulau Bintan, Indonesia. *Oseanologi dan Limnol. di Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 71–77. doi: 10.14203/oldi.2019.v4i2.244.