

Isolasi dan Identifikasi Bakteri Dekontaminasi Logam Berat Timbal (Pb) dari Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Bantul, Yogyakarta***Isolation and Identification of Lead Metal (Pb) Decontamination Bacteria from The Integrated Waste Management Place, Piyungan, Bantul, Yogyakarta***

Fitri Nur Afifah, Endah Retnaningrum*

Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, JL. Teknik Selatan, Sekip Utara,
Yogyakarta 55281

*Email korespondensi : endahr@ugm.ac.id

ABSTRAK

Pengelolaan sampah secara *open dumping* dapat menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan. Salah satunya adalah air lindi, yang dihasilkan dari dekomposisi sampah akibat terjadinya presipitasi air hujan ke dalam sampah. Air lindi dapat mengandung zat berbahaya seperti logam berat, salah satunya timbal (Pb), yang bersifat karsinogenik serta dapat mencemari udara, air, tanah, tumbuhan, dan hewan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengelolaan lindi dengan metode yang tepat agar tidak mencemari lingkungan, salah satunya menggunakan bioremediasi dengan memanfaatkan mikroorganisme *indigenous* dari tempat asal polutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengidentifikasi bakteri *indigenous* yang mempunyai kemampuan dekontaminasi timbal (Pb) dari TPST Piyungan. Bakteri diisolasi dari air lindi menggunakan medium *nutrient broth* dan *nutrien agar* yang telah ditambahkan timbal dari $Pb(NO_3)_2$. Isolat yang didapatkan kemudian dilakukan seleksi dan skrining untuk mendapatkan beberapa isolat terbaik yang resisten timbal. Daya penurunan konsentrasi timbal diukur menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Isolat bakteri juga diidentifikasi karakter fenotopik berupa morfologi sel, morfologi koloni, dan sifat fisiologisnya untuk menentukan jenis bakteri yang diteliti. Berdasarkan proses isolasi dan skrining, didapatkan tiga isolat yang resisten timbal dengan daya reduksi yang cukup tinggi 67.13%, 40.89%, dan 14.65%. Ketiga isolat berasal dari genus yang berbeda, meliputi *Serratia*, *Proteus*, dan *Thiobacillus*.

Kata kunci: bakteri indigenous, bioremediasi, dekontaminasi, timbal

ABSTRACT

Waste management by *open dumping* can have a negative impact on the environment. One of them is leachate, which is produced from the decomposition of waste due to precipitation of rainwater into the waste. Leachate can contain harmful substances such as heavy metals, one of which is lead (Pb), which is carcinogenic and can contaminate air, soil, plants, and animals. Therefore, it is necessary to manage leachate with the right method so as not to damage the environment, one of which is using bioremediation by utilizing native microorganisms from pollutant origins. This study aims to isolate and identify indigenous bacteria that can decontaminate lead (Pb) from Piyungan TPST. Bacteria were isolated from leachate using *nutrient broth* and *nutrien agar* medium which had been added with lead from $Pb(NO_3)_2$. The isolates obtained were then selected and screened to obtain the best lead-resistant isolates. The reduction power of lead concentration was measured using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Bacterial isolates also identified phenotypic characters in the form of cell morphology, colony morphology, and physiological characteristics to determine the type of bacteria. Based on the isolation and screening process, three lead-resistant isolates were obtained with relatively high reducibility of 67.13%, 40.89% and 14.65%. The third isolate came from a different genus, including *Serratia*, *Thiobacillus*, and *Bacillus*.

Keywords: indigenous bacteria, bioremediation, decontamination, lead

PENDAHULUAN

Aktivitas manusia sehari-hari menyebabkan pengeluaran sampah. Volume sampah yang dibuang berbanding lurus dengan tingkat konsumsi manusia terhadap barang yang digunakan. Peningkatan jumlah penduduk dan gaya hidup menjadi faktor penting dalam mempengaruhi tingkat konsumsi masyarakat yang berdampak pada volume sampah yang dihasilkan (Kasam, 2011). Pada tahun 2021, di Yogyakarta diperkirakan menghasilkan sampah sebanyak 1,133 ton setiap hari. Sebagian dari sampah tersebut terdapat 893,53 ton sampah yang dapat ditangani per harinya (Bappeda, 2021). TPST Piyungan merupakan salah satu tempat pembuangan sampah utama di Yogyakarta. Metode pengelolaan sampah di TPST Piyungan dilakukan secara *open dumping* yaitu pembuangan sampah yang dibuang begitu saja dalam sebuah tempat pembuangan akhir tanpa perlakuan lebih lanjut (Parasista, 2020). Penggunaan metode tersebut cenderung menyebabkan sampah menjadi menumpuk dan ketika musim hujan, air akan merembes ke dalam sampah kemudian akan keluar sebagai air lindi yang berpotensi untuk mencemari lingkungan (Said & Hartaja, 2018).

Air lindi hasil dekomposisi sampah dapat mencemari lingkungan dan mempengaruhi kesehatan manusia karena kandungan zat-zat berbahaya, salah satunya logam berat (Rahadi *et al.*, 2020; Lundgren, 2012). Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang mempunyai sifat karsinogenik dan dapat mencemari udara, air, tanah, tumbuhan, hewan, bahkan manusia apabila terakumulasi dalam akuifer atau air permukaan karena adanya paparan polutan yang ikut terkonsumsi (Juniawan *et al.*, 2013; Colin *et al.*, 2012). Meskipun demikian, belum semua orang memahami tentang pengolahan lindi, sehingga masih ditemukan lindi yang mencemari lingkungan karena belum diolah secara maksimal sebelum dibuang. Lindi umumnya diolah menggunakan suatu bahan kimia atau dibersamai dengan perlakuan fisik untuk menghilangkan kontaminasi logam berat (Siregar, 2009). Akan tetapi, penanggulangan menggunakan metode kimia dan fisika mempunyai beberapa kekurangan, seperti membutuhkan biaya

instalasi dan operasional yang tinggi, menghasilkan sisa buangan yang tidak ramah lingkungan, dan tidak dapat mengolah semua jenis logam berat, seperti Pb, Cd, dan Hg (Ratnawati *et al.*, 2010; Tiquia-Arashiro, 2018).

Salah satu alternatif penanggulangan pencemaran logam berat dapat memanfaatkan proses bioremediasi. Bioremediasi merupakan suatu teknologi yang menggunakan suatu mikroorganisme dan hasil produksinya untuk mengurangi, menghilangkan, dan mengubah berbagai macam kontaminan yang berasal dari tanah, air, sedimen, dan udara (Adams *et al.*, 2015). Dalam bioremediasi, proses degradasi dapat dilakukan dengan memanfaatkan mikroorganisme *indigenous* dari daerah asal kontaminasi tersebut. Menurut Tiquia-Arashiro, (2018) bakteri mempunyai berbagai mekanisme resistensi yang dapat digunakan untuk mengurangi konsentrasi Pb di lingkungan, yang meliputi biosorpsi, presipitasi, bioakumulasi, dan pengikatan dengan siderophores. Penggunaan bakteri *indigenous* yang dapat menurunkan Pb perlu diuji sehingga dapat digunakan sebagai alternatif dalam penanganan pencemaran. Oleh karena itu, untuk mengetahui kemampuan mikroorganisme *indigenous*, terutama bakteri, yang berpotensi dapat menurunkan logam Pb, diperlukan suatu proses isolasi dan identifikasi bakteri di wilayah tercemar yang kemudian dapat dikembangkan sebagai agen bioremediasi.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan di kolam lindi di Tempat Pembuangan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Sitimulyo, Piyungan, Bantul. Sampel lindi diambil dari empat titik berbeda yang meliputi selokan selatan (A), kolam penampungan lindi inlet (tanpa perlakuan) 1 (B), kolam inlet 2 (C) serta selokan utara (D). Sampel air lindi diambil dari kolam lindi tanpa perlakuan sebanyak 50 mL dan dimasukkan dalam *conical tube*. *Conical tube* kemudian dimasukkan dalam *ice box* berisi *ice gel* untuk menjaga agar sampel tidak rusak selama perjalanan menuju laboratorium.

Isolasi dan Skrining Bakteri Resisten Pb

Bakteri diisolasi dengan metode pengenceran bertingkat pada medium NB cair yang telah ditambahkan Pb dari $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebanyak 0.5 ppm. Pengenceran dilakukan menggunakan NaCl 0.85%. Sebanyak 1 mL sampel dimasukkan dalam 9 mL NaCl 0.85% steril hingga tingkat pengenceran 10^{-3} . Setelah itu, 5 mL dari pengenceran terakhir diinokulasikan dalam 45 mL medium cair yang telah ditambahkan Pb kemudian diinkubasi dalam suhu ruang selama 7 hari.

Resubkulturing dilakukan sebanyak dua kali menggunakan komposisi medium yang sama dengan waktu inkubasi yang sama. Isolat yang tumbuh kemudian diinokulasikan ke media nutrisi agar (NA) secara *spread plate* menggunakan metode pengenceran bertingkat. Koloni yang tumbuh dan menunjukkan morfologi koloni berbeda selanjutnya dipindahkan ke media nutrisi agar menggunakan metode *quadrant streak plate* untuk memurnikan bakteri. Isolat murni yang telah didapatkan kemudian dilakukan skrining untuk mendapatkan isolat terbaik yang resisten Pb.

Skrining dilakukan pada medium NB yang ditambahkan Pb 0.5 ppm. Sebanyak 1 ose bakteri diinokulasikan dalam 10 mL medium cair yang telah ditambahkan Pb. Isolat yang tumbuh ditunjukkan dengan adanya kekeruhan dalam medium, kemudian ditumbuhkan kembali pada medium NB dengan konsentrasi Pb dinaikkan sebanyak 0.5 ppm dari konsentrasi sebelumnya. Proses skrining terus dilakukan hingga mendapatkan tiga isolat terbaik yang resisten Pb.

Kurva Pertumbuhan Bakteri

Kurva pertumbuhan bakteri resisten Pb dilakukan dengan menumbuhkan bakteri pada medium NB dan medium NB yang ditambahkan Pb 10 ppm. Isolat bakteri ditumbuhkan pada medium cair terlebih dahulu untuk dijadikan sebagai starter. Starter kemudian diukur nilai *optical density* (OD) menggunakan spektrofotometer UV-Vis panjang gelombang 625 nm untuk menyelaraskan konsentrasi setiap isolat bakteri mengacu pada Mc-Farland 0.5 (Eduardo et al., 2018).

Starter bakteri diambil sebanyak 10% dari total medium yang digunakan. Kemudian

diinkubasi pada *shaker incubator* selama 48 jam dengan kecepatan 160 rpm dan suhu 30°C . Setiap selang waktu 6 jam dilakukan analisis pertumbuhan menggunakan *Total Plate Count* (TPC) dengan tingkat pengenceran yang digunakan adalah 10^{-6} dan 10^{-7} . Pengukuran pertumbuhan bakteri dianalisis dengan rumus mengacu pada Maier et al., (2009).

Uji penurunan Konsentrasi Pb oleh Bakteri

Uji penurunan Pb dilakukan pada tiga isolat hasil skrining. Uji dilakukan dengan menumbuhkan ketiga isolat pada medium cair yang ditambahkan Pb 10 ppm dan diinkubasi dalam *incubator shaker* selama 48 jam dengan kecepatan 160 rpm dan suhu 30°C . Kultur tersebut kemudian diukur daya reduksinya menggunakan AAS (*Automatic Absorption Spectrophotometer*) (Lewaru et al., 2012). Perhitungan konsentrasi logam Pb terserap mengacu pada Yanti et al., (2021) dengan Persamaan 1.

$$D = \frac{C(a)-C(b)}{C(a)} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

D = Daya penurunan kadar Pb (%)

C(a) = Konsentrasi awal Pb (ppm)

C(b) = Konsentrasi akhir Pb (ppm)

Identifikasi Karakter Fenotipik

Identifikasi karakter dilakukan dengan pengamatan mikroskopik, makroskopik, dan pengujian biokimiawi. Pengamatan mikroskopik meliputi pengamatan bentuk sel dan sifat gram serta pengecatan endospora. Pengamatan mikroskopik dilakukan menggunakan mikroskop dengan perbesaran $100\times$. Pengamatan makroskopik berupa pengamatan morfologi koloni pada agar plate dan agar miring. Karakter yang diamati meliputi bentuk, warna, tepi, dan elevasi. Uji biokimiawi yang dilakukan meliputi uji katalase, uji pembentukan indol, uji reduksi nitrat, uji fermentasi karbohidrat, uji fermentatif-oksidatif, uji motilitas dan pembentukan H_2S , uji hidrolisis kasein, uji hidrolisis pati, uji hidrolisis urea, serta uji sitrat. Karakteristik yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan literatur (*Bergeys Manual of Determinative Bacteriology*) untuk menentukan jenis bakteri yang diteliti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi dan Skrining Bakteri

Proses isolasi dilakukan dengan *enrichment* dengan tujuan untuk menumbuhkan mikroorganisme tertentu saja yang diinginkan dan menghambat mikroorganisme lain yang tidak diinginkan (Gu, 2021). Dalam penelitian ini, mikroorganisme yang diinginkan adalah mikroorganisme yang mampu mereduksi Pb. Oleh karena itu, proses *enrichment* dilakukan dengan menambahkan Pb dalam medium.

Proses isolasi dan pemurnian bakteri dari TPS Piyungan, diperoleh sebanyak 10 isolat. Tiga isolat bakteri yaitu isolat PyA1, PyA2, PyA3 diperoleh dari titik sampling pada selokan selatan. Lima isolat bakteri yaitu isolat PyB1, PyB2, PyB3, PyB4 dan PyB5 diperoleh dari titik sampling pada kolam inlet 1, sedangkan 2 isolat bakteri yaitu isolat PyD1 dan PyD2 diperoleh dari titik sampling pada selokan utara. Proses isolasi dilakukan secara *quadrant streak*. Tujuan dilakukannya penggoresan secara kuadran adalah untuk mengurangi jumlah bakteri sehingga akan didapatkan koloni yang terpisah atau koloni tunggal (Brown & Smith, 2012; Sumbali & Mehrotra, 2009).

Isolat bakteri kemudian dilakukan skrining untuk mendapatkan isolat terbaik yang resisten Pb. Skrining dilakukan dengan menumbuhkan bakteri dalam medium cair yang telah ditambahkan Pb 0.5 ppm. Bakteri yang mampu tumbuh ditunjukkan dengan terdapatnya kekeruhan pada medium. Isolat bakteri yang menunjukkan pertumbuhan kemudian dibandingkan tingkat kekeruhannya satu sama lain secara visual. Isolat yang mempunyai tingkat kekeruhan lebih tinggi akan digunakan untuk proses resubkulturing berikutnya. Proses resubkulturing dilakukan secara bertahap dengan menaikkan konsentrasi Pb sebanyak 0.5 ppm. Setelah dilakukan resubkulturing hingga mencapai konsentrasi Pb 20 ppm, didapatkan tiga isolat bakteri yang masih bertahan. Isolat bakteri tersebut adalah isolat PyB1 dan isolat PyB2 yang diperoleh dari titik sampling pada kolam inlet 1 serta isolat PyA3 yang diperoleh dari titik sampling pada selokan selatan.

Laju Pertumbuhan pada Medium Tanpa Pb dan Medium dengan Pb

Laju pertumbuhan dilakukan menggunakan *Total Plate Count* (TPC). TPC merupakan salah satu metode perhitungan mikroorganisme secara tidak langsung. Prinsip dari metode TPC yaitu menghitung jumlah koloni mikroorganisme pada suatu *agar plate* dengan tingkat pengenceran tertentu (Nelce Mailoa *et al.*, 2017). Metode ini mempunyai keuntungan berupa memberikan hasil yang lebih akurat dikarenakan hanya menghitung koloni yang hidup saja (Alfiyanti & Putri, 2020). Hasil perhitungan menggunakan TPC kemudian digunakan untuk menyusun laju pertumbuhan.

Tabel 1. Laju Pertumbuhan pada Medium Tanpa Pb

	Isolat PyB1	Isolat PyB2	Isolat PyA3
X0	$6,05 \times 10^7$	$2,25 \times 10^7$	$4,725 \times 10^7$
(CFU/mL)			
X	$52,25 \times 10^7$	$72,25 \times 10^7$	$83,2 \times 10^7$
(CFU/mL)			
t (jam)	12	12	12
μ	0,180	0,290	0,239

Berdasarkan Tabel 1, isolat PyB2 menunjukkan laju pertumbuhan tertinggi pada medium NB tanpa penambahan Pb.

Tabel 2. Laju Pertumbuhan pada Medium dengan Pb 10 ppm

	Isolat PyB1	Isolat PyB2	Isolat PyA3
X0	$0,975 \times 10^7$	$6,25 \times 10^7$	4×10^7
(CFU/mL)			
X	$96,325 \times 10^7$	$102,9 \times 10^7$	$71,675 \times 10^7$
(CFU/mL)			
t (jam)	12	24	18
μ	0,383	0,117	0,160

Berdasarkan Tabel 2, isolat PyB1 menunjukkan laju pertumbuhan tertinggi pada medium NB dengan penambahan Pb 10 ppm.

Laju pertumbuhan bakteri pada medium Pb lebih kecil daripada medium tanpa Pb. Pertumbuhan bakteri dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi dan kondisi lingkungan (Lewaru *et al.*, 2012; Rahadi *et al.*, 2020). Hal ini mengindikasikan bahwa pada medium dengan Pb kurang mendukung pertumbuhan bakteri yang dimungkinkan terjadi karena

adanya pengaruh Pb terhadap pertumbuhan sel bakteri. Pada konsentrasi yang tinggi, Pb dapat diinduksi ke dalam sel dan berikatan dengan protein sehingga mengakibatkan rusaknya DNA, menghambat aktivitas enzim, merusak permeabilitas sel serta menyebabkan keluarnya sitoplasma yang dapat mengubah morfologi sel (Jaishankar *et al.*, 2014; Ratnawati *et al.*, 2010).

Akan tetapi, untuk isolat PyB1 menunjukkan hasil berbeda yang mana laju pertumbuhan pada medium Pb lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa isolat PyB1 tahan terhadap paparan Pb menggunakan mekanisme resistensi yang dimilikinya. Isolat PyB1 dimungkinkan mempunyai kemampuan biosorpsi Pb lebih baik daripada kedua isolat lainnya. Kemampuan biosorpsi bakteri dipengaruhi oleh struktur dan komponen dinding sel bakteri yang mengandung gugus fungsi yang berinteraksi dengan logam (Ratnawati *et al.*, 2010).

Penurunan Konsentrasi Pb oleh Bakteri

Tabel 3. Presentase Penurunan Pb oleh Bakteri

Isolat Bakteri	Pb awal (ppm)	Pb akhir (ppm)	Daya penurunan Pb (%)
Isolat PyB1	10	8.535	14.65
Isolat PyB2	10	5.911	40.89
Isolat PyA3	10	3.287	67.13

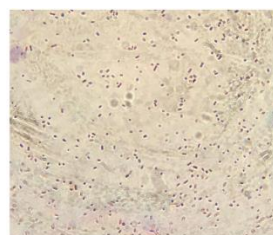
Ketiga isolat menunjukkan kemampuan penurunan Pb yang cukup tinggi. Tingkat penurunan Pb yang cukup tinggi pada beberapa isolat bakteri mengindikasikan bahwa di TPST Piyungan terdapat bakteri *indigenous* yang berpotensi sebagai agen bioremediasi. Kemampuan penurunan logam oleh bakteri dipengaruhi oleh beberapa hal yang meliputi konsentrasi Pb, waktu inkubasi, dan jenis bakteri (Utami *et al.*, 2020). Bioremediasi yang dilakukan bakteri akan memodifikasi struktur kompleks polutan beracun menjadi bentuk yang sederhana sehingga menjadi melabolit yang tidak berbahaya (Priadie, 2012). Mekanisme bakteri dalam menurunkan konsentrasi Pb umumnya meliputi presipitasi, pengikatan

Pb dengan siderophores, bioakumulasi, dan biosorpsi (Tiqua-Arashiro, 2018).

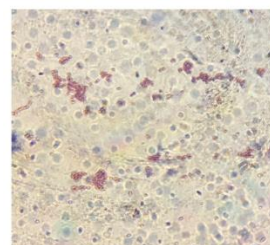
Biosorpsi dapat terjadi di permukaan sel ataupun menggunakan *extracellular polymeric substances* (EPS) dengan mekanismenya melakukan pengikatan kation logam (Pb^{2+}) sehingga menghasilkan imobilisasi logam untuk memasuki sel. Berbeda dengan biosorpsi yang terjadi pada permukaan sel, bioakumulasi merupakan mekanisme pengikatan logam yang terjadi secara intraseluler dan biasanya melibatkan senyawa yang disebut metallothioneins (Joutey *et al.*, 2015; Tiquia-Arashiro, 2018). Presipitasi dilakukan bakteri untuk menurunkan konsentrasi logam bebas menjadi kompleks yang tidak larut sehingga akan mengurangi toksisitasnya. Pengikatan Pb dengan siderophores dilakukan dengan membentuk kompleks logam-ligand yang stabil (Tiqua-Arashiro, 2018). Menurut Halttunen *et al.*, (2007), mekanisme utama dalam penurunan konsentrasi Pb adalah melalui biosorpsi pada permukaan sel.

Karakterisasi dan Identifikasi Bakteri

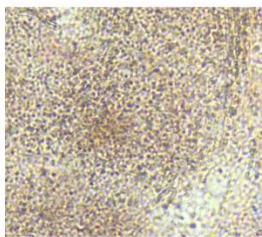
Data karakteristik mikroskopik, makroskopik, dan biokimia dapat digunakan sebagai acuan untuk identifikasi jenis bakteri. Pada pengamatan mikroskopik diketahui bahwa ketiga isolat bakteri bersifat gram positif dengan bentuk sel coccobacil.



Isolat PyB1



Isolat PyB2



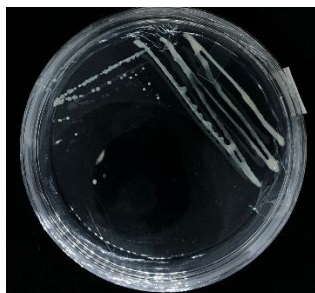
Isolat PyA3

Gambar 1. Pengamatan mikroskopik bakteri

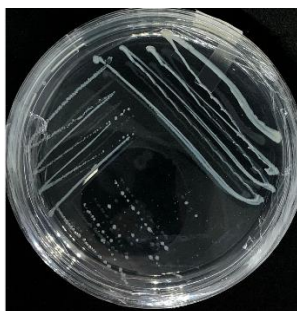
Berdasarkan pengamatan makroskopik menunjukkan bahwa ketiga isolat bakteri mempunyai bentuk koloni *circular* dengan tepi koloni *entire*. Isolat PyB1 berwarna merah muda/magenta dengan elevasi *convex*. Isolat PyB2 berwarna putih transparan dengan elevasi *flat*. Isolat PyA3 berwarna putih dengan elevasi *flat*.



Isolat PyB1



Isolat PyB2



Isolat PyA3

Gambar 2. Pengamatan makroskopik bakteri

Selain uji pewarnaan gram dan pengamatan makroskopik, isolat bakteri juga diuji endospora, uji katalase, uji pembentukan indol, uji reduksi nitrat, uji fermentasi karbohidrat, uji fermentatif-oksidatif, uji motilitas dan pembentukan H₂S, uji hidrolisis kasein, uji hidrolisis pati, uji hidrolisis urea, serta uji sitrat.

Tabel 3. Pengujian biokimia

Uji Biokimia	Isolat Bakteri		
	PyB1	PyB2	PyA3
Uji Katalase	+	+	+
Penggunaan Oksigen	Aerob	Anaerob	Aerob
Fermentasi Karbohidrat			
a. Glukosa	-	-	-
b. Sukrosa	+	-	-
c. Laktosa	-	+	-
d. Manitol	+	+	+
Pembentukan indol	-	+	-
Reduksi nitrat	+	-	+
Motilitas	+	+	+
Pembentukan H ₂ S	-	+	+
Hidrolisis protein	-	+	-
Hidrolisis pati	-	-	-
Hidrolisis urea	-	+	+
Penggunaan sitrat	+	+	+
Oksidatif-fermentatif	+	+	+

Berdasarkan uji lanjut tersebut menunjukkan bahwa isolat PyB1 merupakan genus *Serratia*, isolat PyB2 merupakan genus *Proteus*, dan isolat PyA3 merupakan genus *Thiobacillus*. Identifikasi genus bakteri didasarkan pada literatur *Bergeys Manual of Determinative Bacteriology*.

Genus *Serratia* mempunyai karakteristik bakteri gram negatif, bentuk sel basil dan

terkadang basil yang hampir menyerupai bulat, menghasilkan pigmen yang umumnya merah atau magenta, bersifat aerob atau fakultatif anaerob, motil, tidak membentuk indol, mampu mereduksi nitrat, sitrat positif, serta dapat memfermentasi manitol.

Genus *Proteus* mempunyai karakteristik berupa sel berbentuk basil, gram negatif, bersifat motil, aerob/fakultatif anaerob, mampu memfermentasi karbohidrat, katalase positif, umumnya mampu menghidrolisis urea, membentuk H₂S, serta umumnya mampu menggunakan sitrat sebagai sumber energi.

Genus *Thiobacillus* mempunyai karakteristik berupa bakteri gram negatif, bentuk sel batang pendek atau elipsoidal, bentuk koloni *circular* dengan warna putih dan mengkilap, bersifat aerob atau fakultatif anaerob, umumnya motil tetapi terdapat beberapa spesies yang non-motil, mampu mengoksidasi thiosulfate membentuk H₂S, mampu mereduksi nitrat, tidak membentuk indol.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa bakteri hasil isolasi dan skrining dari air lindi di TPST Piyungan yang berpotensi dalam dekontaminasi Pb berjumlah tiga isolat yang terdiri dari isolat PyB1, isolat PyB2, dan isolat PyA3. Kemampuan dekontaminasi Pb oleh ketiga isolate bakteri menunjukkan presentase yang cukup tinggi, yaitu isolat PyA3 dengan presentase penurunan kadar Pb sebesar 67, 13%, isolat PyB2 sebesar 40, 89% dan isolat PyB1 sebesar 14, 65%. Berdasarkan hasil identifikasi, isolat bakteri PyB1 termasuk dalam genus *Serratia*, isolat bakteri PyB2 termasuk dalam genus *Proteus*, dan isolat bakteri PyA3 termasuk dalam genus *Thiobacillus*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, G. O., Fufeyin, P. T., Okoro, S. E., & Ehinomen, I. (2015). Bioremediation, biostimulation and bioaugmentation: a review. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, 3(1), 28-39.
- Alfiyanti, E., & Putri, D. H. (2020). Precision of enumeration technique for count of the number of bacterial cells with the spread plate method. *Serambi Biologi*, 5(1), 7-10.
- Brown, A., & Smith, H. (2012). *Benson's Microbiological Applications Laboratory Manual in General Microbiology Thirteenth Edition*. Mc Graw Hill Education.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah. (2021). *Pengelolaan Sampah Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang* http://bappeda.jogjapro.go.id/dataku/data_dasar/index/208-pengelolaan-sampah?id_skpd=29
- Colin, V. L., Villegas, L. B., & Abate, C. M. (2012). Indigenous microorganisms as potential bioremediators for environments contaminated with heavy metals. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 69, 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.12.001>
- Eduardo, G. L., Ramirez, B. S., Maribel, C. F., Pescador, M. G. N., & Cruz, F. J. M. (2018). Low accuracy of the McFarland method for estimation of bacterial populations. *African Journal of Microbiology Research*, 12(31), 736-740.
- Gu, J. D. (2021). On enrichment culturing and transferring technique. *Applied Environmental Biotechnology*, 6(1), 1-5.
- Halttunen, T., Salminen, S., & Tahvonen, R. (2007). Rapid removal of lead and cadmium from water by specific lactic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 114(1), 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.10.040>
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60-72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Juniawan A., B. Rumhayati & B. Lamuyanto. (2013). Karakteristik Lumpur Lapindo dan Fluktuasi Logam Berat Pb dan Cu pada Sungai Porong dan Aloo. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, 7(1), 1-10.
- Joutey, N. T., Sayel, H., Bahafid, W., & El Ghachtouli, N. (2015). Mechanisms of Hexavalent Chromium Resistance and Removal by Microorganisms. In D. M. Whitacre (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 233*,

- 233, 45-69.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-10479-9_2
- Kasam, I. (2011). Analisis Resiko Lingkungan pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus: TPA Piyungan Bantul). *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 3(1), 19-30.
<https://doi.org/10.20885/jstl.vol3.iss1.art2>
- Lewaru, S., R. Indah. & M. Yuniar. (2012). Identifikasi Bakteri Indigeneus Logam Berat Cr (VI) dengan Metode Molekuler di Sungai Cikijing Rancaekek Jawa Barat. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 3(4), 81-92.
- Lundgren, K. (2012). *The global impact of e-waste: addressing the challenge*. International Labour Organization.
- Maier, R. M., Pepper, I. L., & Gerba, C. P. (2009). *Environmental Microbiology Second Edition*. Academic Press.
- Nelce Mailoa, M., Marthina Tapotubun, A., & Matrutty, T. E. A. A. (2017). Analysis Total Plate Counte (TPC) On Fresh Steak Tuna Applications Edible Coating Caulerpa sp During Stored at Chilling Temperature. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 89, 012014.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/89/1/012014>
- Parasista, P. (2020). *Ombudsman DIY Sampaikan Saran ke Gubernur Terkait Pengelolaan Sampah di Karmantul (TPST Piyungan)*.
<https://ombudsman.go.id/artikel/r/artikel--ombudsman-diy-sampaikan-saran-ke-gubernur-terkait-pengelolaan-sampah-di-kartamantul-tpst-piyungan#:~:text=Bahkan%20hasil%20pengumpulan%20data%20Ombudsman,akhir%20tanpa%20perlakuan%20lebih%20lanjut.>
- Priadie B. (2012). Teknik bioremediasi sebagai alternatif dalam upaya pengendalian pencemaran air. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(1), 38-48.
- Ratnawati, E., Ermawati, R., & Naimah, S. (2010). Teknologi Biosorpsi oleh Mikroorganisme, Solusi Alternatif untuk Mengurangi Pencemaran Logam Berat. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 32(1), 34.
<https://doi.org/10.24817/jkk.v32i1.2739>
- Said, N. I., & Hartaja, D. R. K. (2018). Pengolahan air lindi dengan proses biofilter anaerob-aerob dan denitrifikasi. *Jurnal Air Indonesia*, 8(1).
<https://doi.org/10.29122/jai.v8i1.2380>
- Siregar, T. H. (2009). Pengurangan Cemaran Logam Berat Pada Perairan Dan Produk Perikanan Dengan Metode Adsorpsi. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 4(1), 24-30.
- Sumbali, G., & Mehrotra, R. S. (2009). *Principles of microbiology*. Tata McGraw-Hill Education.
- Tiquia-Arashiro, S. M. (2018). Lead absorption mechanisms in bacteria as strategies for lead bioremediation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(13), 5437-5444.
<https://doi.org/10.1007/s00253-018-8969-6>
- Utami, U., Harianie, L., Dunyana, N. R., & Romaidi. (2020). Lead-resistant bacteria isolated from oil wastewater sample for bioremediation of lead. *Water Science and Technology*, 81(10), 2244-2249.
<https://doi.org/10.2166/wst.2020.281>
- Rahadi, B., Susanawati, L. D., & Agustianingrum, R. (2020). Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Bakteri Indigenous Pada Tanah Tercemar Air Lindi (Leachate). *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 6(3), 11-18.
- Yanti, D. H., Nursyirwani, N., & Yoswaty, D. (2021). Isolation and Identification of Bacteria from Dumai Marine Waters that Have Potencial as Lead Bioremediation Agents. *Journal of Coastal and Ocean Sciences*, 2(3), 217-222.
<https://doi.org/10.31258/jocos.2.3.217-222>