

Toleransi logam berat timbal (Pb) pada bakteri *indigenous* dari air laut Pelabuhan Paotere, Makassar

Heavy metal lead (Pb) tolerance of indigenous bacteria from Seawater in Paotere Port, Makassar

Fahrudin Fahrudin*, Slamet Santosa, and Sareda

Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar 90245, Indonesia

*E-mail: fahrudin_science@unhas.ac.id

Diterima: 10 Maret 2020 – Direvisi: 15 April 2020 – Disetujui: 16 April 2020

Abstract: Marine water which has been polluted by heavy metals such as lead (Pb) from port activities can affect marine life, however several microorganisms are able to adapt in polluted waters due to their resistant capabilities. The research aimed to obtain isolates bacterial which are resistant to Pb and to test their resistant ability. Bacterial isolation was obtained from sediment and seawater taken in Paotere Port, Makassar. The isolation of the resistant bacteria was done using nutrient agar media which contained 10 ppm of Pb. The growth of the bacteria was initially observed macroscopically and microscopically to determine type of the colony. Resistant test for each type of isolate was done by inoculating them on nutrient broth media which contained different concentration of Pb: 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm, 25 ppm, and a control. The test resulted in eight different isolates, five isolates from sediment samples and three from seawater samples. The results showed that each isolate has different degree of resistant toward Pb. Isolate IA1 has the higher resistant ability, and it was followed by isolate IS5.

Keywords: lead; bacterial isolates, resistancy, Makassar

Abstrak: Perairan laut tercemar logam berat timbal (Pb), yang bersumber dari aktifitas pelabuhan, dapat mengganggu kehidupan biota laut, namun sejumlah mikroorganisme mampu beradaptasi karena memiliki kemampuan resistan. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh isolat bakteri yang resistan terhadap Pb dan menguji kemampuan resistansinya. Isolasi bakteri diperoleh dari sampel sedimen dan air laut dari Pelabuhan Paotere, Makassar. Untuk isolasi bakteri resistan menggunakan media nutrient agar yang mengandung 10 ppm Pb. Bakteri yang tumbuh diamati secara makroskopis dan mikroskopis sebagai pendekatan awal untuk mengetahui jenis isolat. Uji resistansi dilakukan untuk setiap jenis isolat, yang diinokulasikan pada media *nutrient broth* pada konsentrasi Pb sebesar 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm, 25 ppm dan 0 ppm sebagai kontrol. Hasilnya, diperoleh delapan jenis isolat yang berbeda, yaitu lima jenis isolat dari sampel sedimen dan tiga dari sampel air laut. Dari hasil uji memperlihatkan, bahwa setiap isolat memiliki kemampuan resistansi berbeda-beda terhadap Pb. Isolat IA1 kemampuan resistansinya lebih tinggi, kemudian isolat IS5.

Kata-kata kunci: timbal; isolat bakteri; resistensi; Makassar

PENDAHULUAN

Perkembangan pelabuhan di Makassar semakin pesat dengan banyak aktifitas bongkar muat oleh kapal-kapal perikanan, termasuk rutinitas masyarakat yang bermukim tidak jauh dari pelabuhan (Yahya, 2013). Salah satunya, yaitu di Pelabuhan Paotere, Makassar. Kegiatan tersebut dapat meningkatkan taraf ekonomi dan kesejahteraan masyarakat; tetapi, juga memberikan dampak negatif dari aspek pencemaran lingkungan, seperti buangan bahan bakar yang berasal dari kapal, yang merupakan sumber bahan-bahan toksik, seperti hidrokarbon minyak bumi dan beberapa jenis logam berat

berbahaya lainnya (Rahim and Ali, 2014; McGenity et al., 2012).

Aktifitas bongkar muat, pengisian bahan bakar kapal, dan perbaikan mesin kapal di pelabuhan, merupakan sumber kontaminasi logam berat di perairan sekitarnya (Thompson and Crerar, 1980; Fahrudin et al., 2019). Bahan bakar kapal mengandung zat lain berupa *tetraethyllead* (TEL), yang di dalamnya terdapat timbal (Pb), untuk meningkatkan mutu; hal inilah yang menyebabkan buangan bahan bakar dari kapal dapat menimbulkan kontaminasi Pb di laut (McGenity et al., 2012). Hal ini tentunya akan mempengaruhi kualitas air laut bila pencemaran logam berat sudah melebihi nilai

ambang batas, yaitu 0,025 ppm (Fiskanita et al., 2015).

Mekanisme masuknya logam berat ke dalam perairan, terutama pada air laut, memerlukan beberapa tahap proses, seperti dispersi, akumulasi, pengenceran, pengendapan, dan pelarutan, melalui mekanisme secara fisika, kimia, dan biologi (Rochyatun et al., 2006). Timbal (Pb) adalah jenis logam berat yang bersifat toksik dan merupakan bahan polutan, karena logam berat ini merupakan senyawa yang tidak bisa dirombak seperti senyawa organik dan dapat bertahan lama di lingkungan air, sebelum akhirnya terabsorpsi oleh adanya suatu proses fisik dan kimia di perairan (Thompson and Crerar, 1980; Tanjung et al., 2019). Bila masuk ke perairan, Pb mudah berikatan dengan materi organik sehingga menyebabkan logam berat ini terdeposisi dan terakumulasi di sedimen (Fahrudin and Asadi, 2015). Akibatnya, kadar logam berat yang terdapat di dalam sedimen lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang ada di dalam kolom air (Fiskanita et al., 2015; Rochyatun et al., 2006).

Logam berat timbal (Pb) merupakan salah satu logam yang mencemari wilayah perairan, yang bersumber dari aktifitas pelabuhan. Standar Pb untuk baku mutu pada perairan pelabuhan, yaitu sebesar 0,05 ppm. Pelabuhan Paotere, Makassar, merupakan salah satu lokasi yang tercemar logam berat Pb, oleh karena adanya aktivitas masyarakat yang membuang limbahnya ke laut, seperti buangan minyak kapal, dan tumpahan cat atau pengelupasan cat pada kapal, serta diketahui sudah melewati ambang batas. Pencemaran logam Pb berbahaya bagi lingkungan, selain terakumulasi pada biota laut juga berbahaya pada kesehatan manusia (Yahya, 2013; Thompson and Watling, 1987).

Unsur Pb adalah logam berat dengan tingkat toksisitas tinggi, karena sifatnya mudah terakumulasi di dalam tubuh organisme (Rochyatun et al., 2006). Pencemaran Pb di perairan menyebabkan mortalitas bagi biota laut; pada manusia dapat mengakibatkan anemia berat, kerusakan susunan saraf, terganggunya fungsi imun, mual, dan kerusakan ginjal yang dapat terjadi dalam jangka waktu lama (Jorgensen et al., 2016).

Namun demikian, logam berat Pb dapat disisihkan menggunakan berbagai metode biologi dengan memanfaatkan kemampuan bakteri dalam mereduksi logam berat, melalui beberapa mekanisme, yaitu pada permukaan sel bakteri dengan ion bermuatan negatif sebagai anion, pada logam berat merupakan ion bermuatan positif yang menyebabkan terbentuk ikatan antara bagian permukaan sel bakteri dan ion pada logam berat (Fiskanita et al., 2015; Fahrudin et al., 2019). Akumulasi logam

berat di dalam sel bakteri terjadi oleh adanya ikatan protein dalam sel dengan logam berat. Protein ini disebut *metallothionein*, yang berperan dalam melakukan *metal-binding* atau pengekapan logam di dalam sel (Thompson and Watling, 1987). Hal inilah yang menyebabkan bakteri dapat resistan terhadap logam berat (Fahrudin et al., 2019).

Beberapa bakteri mampu melakukan pengikatan logam berat, salah satunya, yaitu *Pseudomonas* sp., yang memiliki kemampuan resistan pada logam berat timbal (Pb), Kromium (Cr), besi (Fe), dan kadmium (Cd). Bakteri ini mampu menurunkan sifat toksik logam-logam tersebut melalui pengikatan pada membran sel. Selain itu, bakteri ini memproduksi hasil metabolit seperti asam-asam organik dan produk metabolit lain, seperti ligan dan H₂S, yang berperan dalam menyisihkan ion-ion logam berat sehingga tidak heran jika bakteri *Pseudomonas* sp. sering digunakan dalam bioremediasi ion logam berat di lingkungan (Wulandari et al., 2005; Chellaiah, 2018). Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan isolat bakteri resistansi Pb dari Pelabuhan Paotere, Makassar.

MATERIAL DAN METODE

Bahan

Sampel air laut dan sedimen diambil pada lokasi yang sama, yaitu di Pelabuhan Poetere, Makassar, Sulawesi Selatan, dengan asumsi bahwa air laut yang diambil telah terkontaminasi Pb, yang bersumber dari aktifitas pelabuhan. Kemudian, sampel dimasukkan ke dalam wadah botol steril untuk dilakukan analisis. Media pertumbuhan bakteri yang digunakan adalah *nutrient agar* (NA) dengan komposisi: pepton 5 g, ekstrak daging 1,5 g, natrium klorida 5 g, dan agar 15 g, dan *nutrient broth* (NB). *Nutrient broth* (NB) dibuat dengan komposisi: pepton 5 g, ekstrak daging 1,5 g, natrium klorida 5 g, dan ekstrak ragi 1,5 g. Timbal (Pb) yang digunakan dari senyawa Pb(NO)₃.

Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Resistan Pb

Seri pengenceran dibuat untuk sampel sedimen dan air laut menggunakan aquades steril dari 10⁻¹-10⁻⁶; selanjutnya, diambil 1 ml untuk diinokulasikan pada media NB yang mengandung 10 ppm Pb. Kemudian, larutan diinkubasi pada *shaker* selama 72 jam. Kultur bakteri yang tumbuh diinokulasikan sebanyak 1 ml pada cawan petri yang berisi media NA yang telah ditambah Pb(NO)₃ dengan konsentrasi Pb sebanyak 10 ppm. Inkubasi dilakukan pada suhu 37°C selama 72 jam. Jumlah

koloni yang tumbuh dihitung dengan metode SPC (*Standart Plate Count*). Koloni yang tumbuh diasumsikan sebagai bakteri yang resistan terhadap Pb.

Karakterisasi Isolat Bakteri

Morfologi koloni yang tumbuh pada persiapan di atas diamati secara makroskopis, meliputi bentuk dan warna koloni; pengamatan mikroskopis meliputi pengecatan gram, pengecatan dan endospore. Koloni yang berbeda diasumsikan sebagai jenis isolat yang berbeda pula; selanjutnya, diisolasi untuk uji resistan pada variasi konsentrasi Pb yang berbeda-beda.

Uji Resistansi Pb pada Isolat Bakteri

Medium NB yang mengandung Pb dibuat pada konsentrasi 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm, dan 25 ppm, serta konsentersasi 0 ppm sebagai kontrol. Medium NB yang mengandung Pb tersebut diinokulasikan isolat dari hasil isolasi pada sampel air laut dan sedimen. Selanjutnya, dilakukan *shaker* dengan kecepatan 180 rpm dan diinkubasi selama 24 jam. Jumlah bakteri yang tumbuh dihitung dengan metode turbidimetri dengan menggunakan *spectrophotometer* pada panjang gelombang 560 nm. Nilai OD (*Optic density*) ditentukan dengan menggunakan rumus $OD = 2 - \log \% T$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

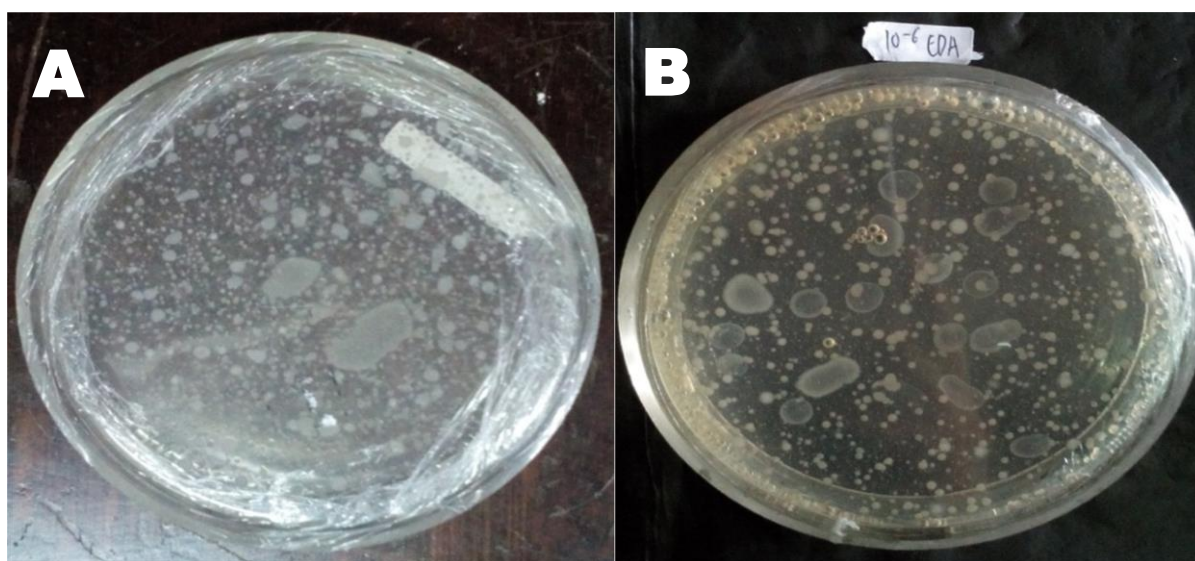
Isolasi Bakteri Resistan Logam Pb

Pada isolasi bakteri dari sampel air laut dan sedimen menggunakan media yang mengandung 10

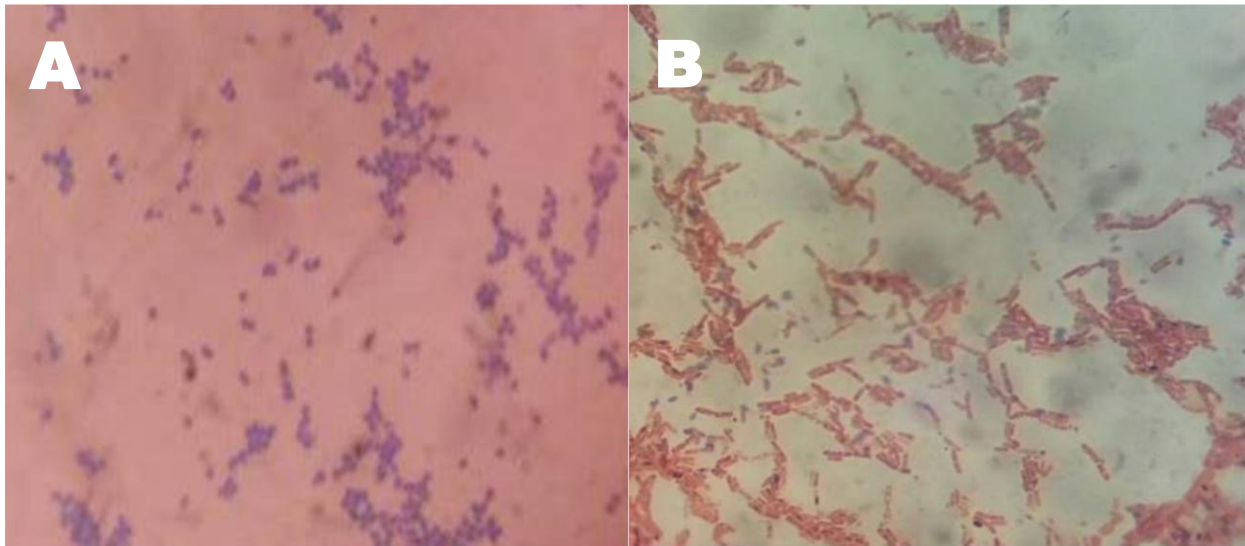
ppm Pb, diperoleh jumlah koloni bakteri yang tumbuh pada sampel sedimen sebanyak 8×10^9 CFU/ml. Pada sampel air laut, diperoleh jumlah koloni yang tumbuh sebanyak $2,4 \times 10^8$ CFU/ml (Gambar 1). Koloni bakteri yang tumbuh pada sampel sedimen lebih banyak jika dibandingkan dengan yang ada pada sampel air laut. Hal ini terjadi, karena dipengaruhi banyaknya zat-zat organik dan anorganik yang mengendap dalam sedimen yang dapat menjadi sumber nutrisi bagi bakteri (Fiskanita et al., 2015). Selain itu, di dalam sedimen, kaya dengan bahan organik dibandingkan pada kolom air laut (Rochyatun et al., 2006). Hal ini terjadi, karena pengaruh laju erosi pada permukaan terbawa air menumpuk menjadi sedimen yang membawa banyak bakteri (Wulandari et al., 2005). Selain itu, hal itu dapat terjadi, karena logam berat Pb memiliki sifat bioakumulatif sehingga dalam air konsentrasi logam berat lebih rendah. Sebaliknya, pada sedimen, semakin meningkat oleh adanya mekanisme secara fisika, kimia, dan biologi di perairan memungkinkan jumlah koloni bakteri lebih banyak yang resistan pada Pb dibandingkan dengan pada kolom air laut (Wulandari et al., 2005; Rochyatun et al., 2006).

Karakterisasi Isolat Bakteri

Berdasarkan hasil karakterisasi morfologi secara makroskopis pada koloni yang tumbuh, ditemukan ada lima ciri warna koloni, yaitu warna putih susu, putih kehijauan, putih kekuningan, putih kecoklatan, orange, coklat muda, dan hijau kekuningan. Pada hasil pengamatan morfologi koloni, didapatkan dua bentuk, yaitu *circular* dan



Gambar 1. (A) Pertumbuhan koloni bakteri resistan timbal pada sampel sedimen; (B) Pertumbuhan koloni bakteri resistan timbal pada sampel air laut.



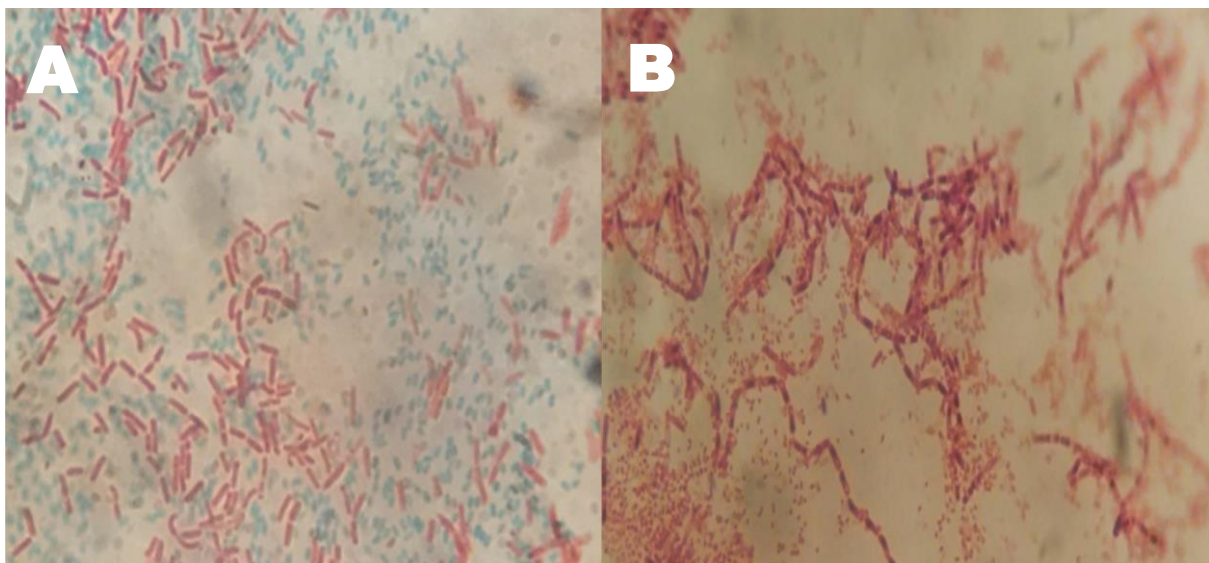
Gambar 2. Penampakan mikroskopis bentuk sel dari isolat bakteri setelah pengecatan Gram. (A) Gram-positif; (B) Gram-negatif.

irregular. Pada hasil pengamatan mikroskopis pengecatan endospora, terdapat hanya dua isolat yang memiliki endospore; sedangkan pada pengecatan Gram ditemukan ada lima bakteri Gram negatif berbentuk basil dan tiga bakteri Gram positif berbentuk *coccus*. Selain itu, nampak adanya perbedaan secara morfologi dalam hal penyerapan zat warna dan bentuk sel ketika diamati di bawah mikroskop (Gambar 2). Untuk membedakan kedua kelompok bakteri ini, dilakukan berdasarkan sifat kimia dan fisik dinding sel bakteri. Bakteri Gram-positif memiliki dinding sel yang lebih sederhana dengan jumlah peptidoglikan yang relatif banyak,

jika dibandingkan dengan dinding sel bakteri Gram-negatif yang lebih sedikit; namun secara struktural lebih kompleks (Chelliah, 2018).

Pada pengamatan endospora, ditandai dengan terbentuk warna hijau pada sel bakteri setelah dilakukan pengecatan (Gambar 3). Bakteri yang memiliki endospora mampu bertahan terhadap kondisi lingkungan ekstrim, seperti suhu yang tinggi, kekeringan, dan senyawa kimia beracun. Jadi, endospora hanya terbentuk ketika keadaan lingkungan tidak menguntungkan (Tsuneda and Currah, 2004).

Pengamatan karakteristik tersebut dilakukan hanyalah merupakan pendekatan awal untuk mendu-



Gambar 3. Perbandingan sel bakteri setelah hasil pengecatan endospora. (A) sel isolat bakteri dengan endospora ditandai adanya warna kehijauan; (B) sel isolat bakteri tidak memiliki endospora.

Tabel 1. Karakteristik morfologi secara makroskopis dan mikroskopis isolat bakteri pada sedimen dan air laut dari Pelabuhan Paotere, Makassar

Sumber Isolat	Kode Isolat	Ciri Koloni		Pengecatan Gram		Endospora
		Warna	Bentuk	Bentuk	Gram	
Sedimen	IS1	putih susu	circular	Coccus	Positif	Tidak ada
	IS2	hijau keputihan	circular	Coccus	Positif	Tidak ada
	IS3	kuning muda	irreguler	Coccus	Negatif	Tidak ada
	IS4	putih kekuningan	circular	Basil	Negatif	Ada
	IS5	putih kecoklatan	circular	Coccus	Positif	Tidak ada
Air laut	IA1	orange	irreguler	Basil	Negatif	Tidak ada
	IA2	coklat muda	circular	Basil	Negatif	Ada
	IA3	hijau kekuningan	bulat	Basil	Negatif	Tidak ada

ga jenis mikroba. Dengan demikian, dapat diketahui jumlah jenis isolat yang diperoleh, yaitu lima jenis isolat dari sampel sedimen laut, yang terdiri dari IS1, IS2, IS3, IS4, dan IS5; dan, tiga jenis isolat dari sampel air laut, yang terdiri dari IA1, IA2, dan IA3 (Tabel 1).

Resistansi Isolat Bakteri Pada logam Pb

Uji resistansi dilakukan pada isolat bakteri dari sedimen dan air laut, yaitu pada media NB yang mengandung Pb dengan konsentrasi, berturut-turut, sebesar 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm, dan 25 ppm, serta 0 ppm sebagai kontrol. Hasil uji resistansi isolat dari sedimen (IS1, IS2, IS3, IS4, dan IS5) menunjukkan, isolat mempunyai tingkat resistensi yang berbeda-beda dengan indikator jumlah pertumbuhan pada setiap konsentrasi Pb berdasarkan nilai OD (Gambar 4). Terdapat dua isolat yang memperlihatkan pertumbuhan yang tinggi, yaitu IS2 dan IS4 pada konsentrasi 10 ppm. Isolat IS1 dan IS3 memperlihatkan pertumbuhan yang tinggi pada konsentrasi 15 ppm, sedangkan isolat IS5 memiliki pertumbuhan yang tinggi pada konsentrasi 25 ppm.

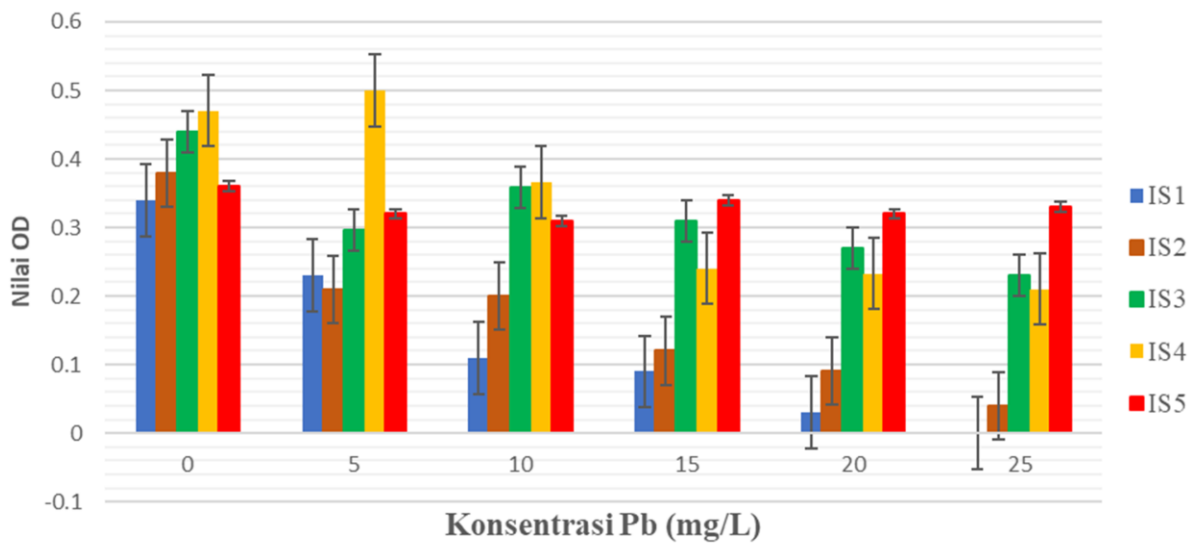
Pada uji resistansi isolat bakteri dari air laut, yang meliputi isolat IA1, IA2, dan IA3, memiliki kesamaan dengan isolat dari sedimen di mana menunjukkan tingkat resistansi yang berbeda-beda terhadap setiap konsentrasi Pb (Gambar 5). Isolat IS5 memperlihatkan kemampuan resistansinya lebih tinggi, yaitu mulai dari konsentrasi Pb 5 ppm sampai pada 25 ppm, kemudian isolat IS3 dan isolat IS4, dibandingkan dengan isolat IS2 yang makin berkurang pertumbuhannya pada konsentrasi lebih tinggi. Demikian pula pada isolat IS1 di mana pada konsentrasi Pb 25 ppm tidak menunjukkan lagi adanya pertumbuhan.

Hasil pengukuran nilai OD pada setiap isolat yang diisolasi dari lingkungan laut tercemar Pb

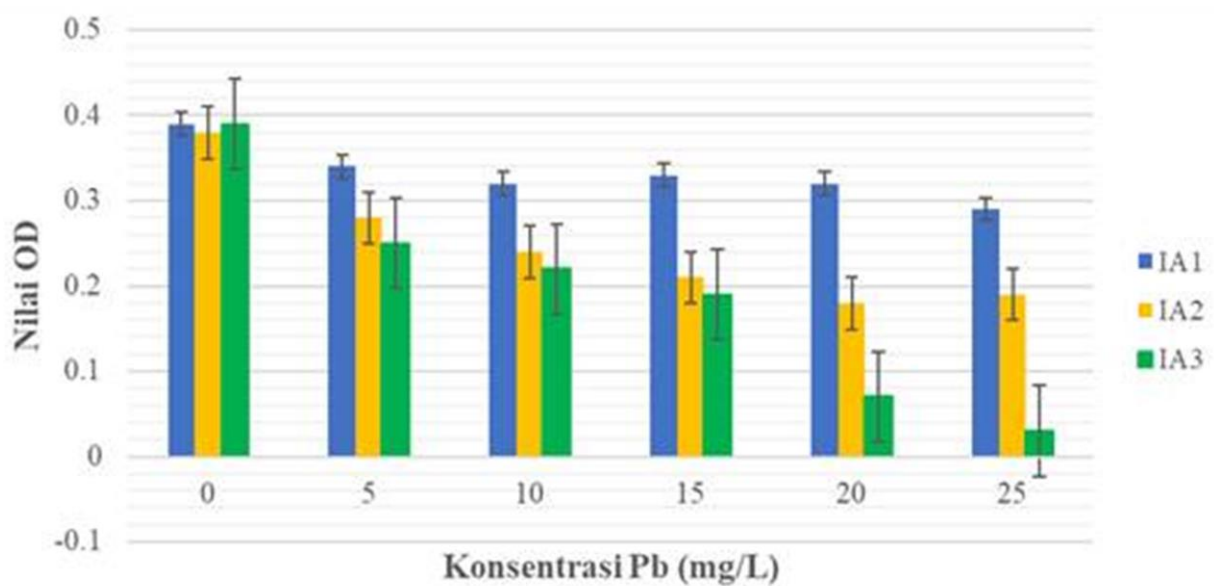
menunjukkan, masing-masing isolat bakteri mempunyai resistansi pada berbagai macam konsentrasi Pb di mana ditandai dengan tingkat kekeruhan pada media tumbuh yang berbeda. Pada Isolat IA1, diperlihatkan sifat resistansi yang tinggi di mana hampir tidak mengalami penurunan pertumbuhan, mulai pada perlakuan konsentrasi Pb 5 ppm sampai pada 25 ppm. Pada isolat IA2, pertumbuhan relatif stabil mulai dari konsentrasi Pb 10 ppm 25 ppm; kemudian pada isolat IA3, pertumbuhan mulai menurun drastis dari konsentrasi Pb 20 ppm hingga 25 ppm.

Uji resistansi bakteri dari sampel sedimen dan sampel air laut menunjukkan, bahwa semua isolat bakteri memiliki kemampuan resistansi pada Pb pada konsentrasi 10-25 ppm, kecuali pada isolat IS1 yang diperoleh dari sedimen. Jika dibandingkan pada kedua sampel air laut dan sampel sedimen sebagai sumber isolat bakteri, isolat dari air laut menunjukkan kemampuan resistansi lebih tinggi pada Pb; ini diperlihatkan pada isolat IA1. Hal ini terkait dengan keberadaan bakteri di mana dalam kolom air lebih adaptif dan terseleksi sesuai dengan kondisi lingkungan air yang relatif memiliki jumlah nutrisi yang kurang tersedia dibandingkan dengan kondisi lingkungan pada sedimen, yang memungkinkan bakteri dapat tahan terhadap lingkungan yang ekstrim, seperti keberadaan logam berat sebagai zat toksik (Adachi et al., 1998).

Perbedaan pertumbuhan isolat bakteri ini menunjukkan, bahwa masing-masing isolat memiliki batas maksimum toleransi terhadap logam Pb. Selain itu, resistansi bakteri pada logam berat terjadi karena kemampuannya untuk melakukan detoksifikasi terhadap pengaruh logam berat dengan adanya protein atau materiil granula seperti polifosfat yang berperan dalam mengikat Pb di dalam sel (Naik et al., 2012).



Gambar 4. Hasil pengukuran nilai OD pertumbuhan bakteri isolat IS1, IS2, IS3, IS4, dan IS5 dari sampel air laut pada nutrisi cair yang mengandung Pb sebesar 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm, dan 25 ppm.



Gambar 5. Hasil pengukuran nilai OD pertumbuhan bakteri isolat IA1, IA2 dan IA3 dari sampel air laut pada nutrisi cair yang mengandung Pb sebesar 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm, dan 25 ppm.

Resistensi bakteri terhadap logam berat, termasuk pada logam berat Pb, terkait dengan ketersediaan gen resisten yang terdapat dalam kromosom, plasmid, dan transposon. Gen resisten ini akan mengontrol pada mekanisme munculnya sifat resisten bakteri. Selain itu, sifat resistensi bakteri muncul dengan melalui transport aktif menggunakan ATP. Akumulasi logam berat Pb dalam sel bakteri terus terjadi sampai batas di mana bakteri tidak mampu lagi mentolerir kandungan logam berat dalam tubuhnya (Rachmawaty et al., 2009).

KESIMPULAN

Berdasarkan karakteristik morfologi secara makroskopis dan mikroskopis di mana diperoleh delapan isolat bakteri yang resisten terhadap Pb (5 jenis isolat dari sampel sedimen dan 3 jenis isolat dari sampel air laut) menunjukkan, bahwa bakteri yang resisten terhadap Pb lebih banyak bersumber dari sedimen di perairan laut. Masing-masing isolat memiliki kemampuan resistensi yang berbeda-beda terhadap Pb dengan konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm, dan 25 ppm. Hal ini berarti, setiap bakteri memiliki kemampuan yang berbeda-beda

pula dalam menyisihkan logam berat Pb di perairan laut.

Ucapan terima kasih. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Ketua Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, yang telah memfasilitasi penggunaan Laboratorium Mikrobiologi untuk kelancaran penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Tim Dosen Bidang Mikrobiologi, yang telah memberikan banyak masukan dalam penulisan laporan penelitian dan penulisan artikel ini. “*Kami menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan dengan organisasi manapun mengenai bahan yang didiskusikan dalam naskah ini.*”

REFERENSI

- ADACHI, A., OKIAYU, M., NISHIKAWA, A. and KOBAYASHI, T. (1998) Metal levels in rain water from Kobe City in Japan. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 60(6), pp. 892-897.
- CHELLAIAH, E.R. (2018) Cadmium (heavy metals) bioremediation by *Pseudomonas aeruginosa*: a minireview. *Applied Water Science*, 8 (154), pp. 1-10.
- FAHRUDDIN and ASADI, A. (2015) Use of organic materials wetland for improving the capacity of sulfate reduction bacteria (SRB) in reducing sulfate in acid mine water (AMW). *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences* 17 (21), pp. 321-324.
- FAHRUDDIN, F., EVA, J. and ZARASWATI, D. (2019) Antifouling potential of *Thalassia hemprichii* extract against growth of biofilm-forming bacteria. *ScienceAsia*, 45, pp.21-27.
- FAHRUDDIN, F., NURHAEDAR, SLAMET, S. and SRI, W. (2019) Uji kemampuan tumbuh isolat bakteri dari air dan sedimen sungai Tallo terhadap logam timbal (Pb). *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan* 10(2), pp. 58-64.
- FISKANITA, F., HAMZAH, B. and SUPRIADI, S. (2015) Analisis logam timbal (Pb) dan besi (Fe) dalam air laut di Pelabuhan Desa Paranggi Kecamatan Ampibabo. *Jurnal Akademika Kimia*, 4 (4), pp. 175-180.
- JORGENSEN, I., ZHANG, Y., KRANTZ, B.A. and MIAO, E.A. (2016) Pyroptosis triggers pore-induced intracellular traps (PITs) that capture bacteria and lead to their clearance by efferocytosis. *Journal of Experimental Medicine*, 213 (10), pp. 2113-2128.
- MCGENITY, T.J., FOLLWEL, B.D., MCKEW, B.A. and SANNI, G.O. (2012) Marine crude-oil biodegradation: a central role for interspecies interactions. *Aquatic Biosystems*, 8 (10), pp. 1-19.
- NAIK, M.M., SHAMIM, K. and DUBEY, S.K. (2012) Biological characterization of lead-resistant bacteria to explore role of bacterial metallothionein in lead resistance. *Current Science*, 103 (4), pp. 426-429.
- RAHIM, I.R. and ALI, S.H. (2014) Studi pengelolaan sampah Pelabuhan Soekarno-Hatta, Makassar. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- RACHMAWATY, F.J., DEWA, A.C., BUNGA, N., TITIS, N. and ENDRAWATI, T.B. (2009) Manfaat Sirih Merah (*Piper crocatum*) sebagai agen anti bakterial terhadap bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Indonesia* 1(1), pp.1-7.
- ROCHYATUN, E., KAISUPY, M.T. and ROZAK, A. (2006) Distribusi logam berat dalam air dan sedimen di perairan muara Sungai Isadane. *Makara Sains*, 10 (1), pp. 35-40.
- TANJUNG, R.E., FAHRUDDIN, F. and FARID, S. (2019) Absorption of heavy metal lead (Pb) by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Its influence to total dissolved solids of groundwater in phytoremediation. *Indonesia Chimica Acta* 13 (1), pp. 10-15.
- THOMPSON, G.A. and WATLING, R.J. (1987) Bioaccumulation potential of heterotrophic bacteria for lead, selenium, and arsenic. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 38 (6), pp. 1049-1054.
- THOMPSON, J.A.J. and CRERAR, J.A. (1980) Methylation of lead in marine sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 11 (9), pp.251-253.
- TSUNEDA, A. and CURRAH, R.S. (2004) *Knufia endospora*, a new clematiaceous hyphomycete from trembling aspen. Canada: Tottori Mycological Institute.
- WULANDARI, S., DEWI, N.F. and SUWONDO. (2005) Identifikasi bakteri pengikat timbal (Pb) pada sedimen di perairan Sungai Siak. *Jurnal Biogenesis*, 1 (2), pp. 62-65.
- YAHYA, M. (2013) Rekayasa lingkungan Pelabuhan Pendaratan Ikan (PPI) di Pelabuhan Paotere Makassar. Makassar: Jurnal Lab. Perencanaan dan Perancangan Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.