

Ekplorasi dan Karakterisasi Biokimia Bakteri Resisten Timbal (Pb) dari Sungai Tallo Makassar

Fahrudin Fahrudin^{1*}, Nur Haedar², Slamet Santosa³, Sri Wahyuni⁴

^{1,2,3,4}Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar

*Koresponden email: fahrudin_science@unhas.ac.id

Diterima: 15 Juli 2020

Disetujui: 22 Juli 2020

Abstract

Industrial progress and waste of urban domestic activities have an impact on the Pb heavy metal pollution on the environment, this will have an impact on human health. Pb metal can be overcome with biological methods by utilizing bacteria in reducing Pb metal. The study aimed to obtain the species of resistant bacterial isolates of Pb metal and determine its characteristics. Sediment and water samples were obtained from the Tallo River. Isolation and selection of Pb metal resistant bacteria were carried out on nutrient agar media is 10 ppm added of PbAgNO₃, afterwards the colonies that grew and differed were characterized by morphological morphology and several biochemical tests. The characterization results obtained 8 isolates of Pb metal resistant bacteria consisted of 8 isolates from sediment samples and 3 isolates from water samples. The characteristics of each bacterial isolate on cell morphology are the same and biochemical tests show different results.

Keywords: *lead heavy metal, sediment, river water, resistant, isolate*

Abstrak

Kemajuan industri dan buangan dari aktifitas domestik perkotaan memberikan dampak pencemaran logam berat Pb pada lingkungan, ini akan memberikan dampak pada kesehatan manusia. Logam Pb dapat ditanggulangi dengan metode biologis dengan memanfaatkan bakteri dalam mereduksi logam Pb. Tujuan penelitian adalah memperoleh jenis isolat bakteri resisten pada logam Pb dan mengetahui karakteristiknya. Sampel sedimen dan air diperoleh dari Sungai Tallo. Isolasi dan seleksi bakteri resisten logam Pb dilakukan pada media nutrient agar yang ditambahkan PbAgNO₃ 10 ppm, selanjutnya koloni yang tumbuh dan berbeda dilakukan karakterisasi meliputi morfologi secara mikroskopis dan beberapa uji biokimia. Hasil karakterisasi diperoleh 8 isolat bakteri resisten logam Pb terdiri dari 5 isolat dari sampel sedimen dan 3 isolat dari sampel air. Pada pengamatan morfologi sel memiliki karakteristik ada yang sama, sedangkan pada uji biokimia terdapat perbedaan.

Kata Kunci: *logam berat timbal, sedimen, air sungai, resisten, isolat*

1. Pendahuluan

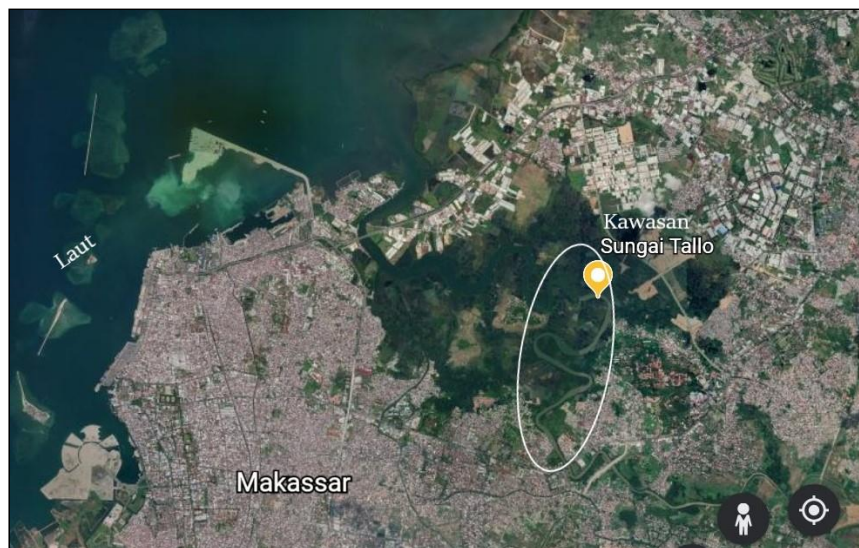
Kemajuan industri yang makin pesat memberikan kontribusi pada peningkatan taraf ekonomi, namun di lain pihak juga memberikan dampak pada pencemaran lingkungan yang bersumber dari limbah [1]. Salah satu pencemaran yang timbul adalah dalam bentuk logam berat yang bersumber dari industri elektronik dan sisa buangan limbah pertambangan. Selain itu, limbah logam berat dapat bersumber dari aplikasi insektisida dan pupuk sintetis pada pertanian [2]. Keberadaan logam berat dalam konsentrasi tinggi menyebabkan akumulasi yang berakibat pada degradasi lingkungan dan sifat toksisitas yang berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia [3].

Sejumlah logam berat sangat dikhawatirkan, termasuk logam berat timbal (Pb) jika masuk pada lingkungan, karena bersifat toksik [4]. Sesuai pada PP RI No.82 Tahun 2001 mengenai Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, standar baku mutu logam berat Pb berdasarkan kelas yaitu 0,03 mg/L (kelas I, II dan III) dan 1 mg/L (kelas IV) [5]. Logam Pb dalam air akan berikatan dengan protein jika terkontaminasi dengan biota air seperti pada ikan membentuk suatu persenyawaan yang disebut metalotionein, sehingga secara perlahan-lahan terjadi bioakumulatif dalam tubuh ikan. Jika konsentrasi sudah di atas batas toleransi maka bersifat fatal dan mengakibatkan terjadinya keracunan, dimana secara tidak langsung akan membahayakan kesehatan manusia jika mengkonsumsinya [3].

Logam berat Pb yang mencemari lingkungan badan air akan terjadi redeposisi yang berikutnya akan terjadi akumulasi dalam sedimen. Demikian pula logam berat terdapat banyak dalam kolom air yang tidak mengendap karena pengaruh faktor lingkungan seperti sifat asam basa atau pun kandungan senyawa

organik yang terkandung dalam air. Karena itu, pada saat logam berat Pb masuk dalam perairan dapat terakumulasi pada biota dan berikutnya masuk pada jaring – jaring makanan ataupun rantai makanan melalui proses makan - memakan [6].

Salah satu perairan di Makassar telah mengalami kontaminasi logam Pb adalah Sungai Tallo tepatnya berada di bagian utara Kota Makassar seperti pada **Gambar 1**. Secara geografis Sungai Tallo posisinya membelah kota Makassar bermuara di Selat Makassar, sangat dipengaruhi oleh pasang surutnya air laut dan pada bagian dasar sungai tersebut letaknya lebih dalam dari pada muka laut sehingga mengakibatkan air asin [7]. Sungai Tallo memiliki panjang 10 km aliran sungai yang berkelok-kelok dimana pada sisi kanan dan kiri ditumbuhi pohon nipa. Ditambah dengan kondisikemiringan yang landai (1/10.000) dan pasang surut air laut yang dapat menjalar hingga jarak 20 km, maka kecepatan sedimentasi seperti ini menjadi rawan bagi daerah pelabuhan Paotere, pemukiman termasuk Kawasan Industri Makassar. Banyaknya industri yang ada di kota ini menyebabkan limbah industri yang ada di sungai pun meningkat. Kadar Pb, Cu, Cd, Cr dan Hg semakin meningkat tidak diimbangi dengan penanganan limbah yang baik sehingga logam berat yang ada di Sungai Tallo pun terbawa ke bagian delta sungai. Ada tiga sumber pencemaran pada aliran Sungai tallo, yaitu buangan limbah dari pabrik gula Makassar Te'ne, limbah rumah tangga dan limbah solar hasil buangan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Pencemaran ini menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati, juga peningkatan bioakumulasi dari bahan beracun di jaring-jaring makanan [8,9].



Gambar 1. Peta kawasan Sungai Tallo

Sumber pencemaran lain pada Sungai Tallo adalah pembuangan limbah yang mengandung logam berat berasal kegiatan domestik dan usaha industri di perkotaan [10]. Kadar total logam Pb yang mengkontaminasi muara Sungai Tallo menunjukkan konsentrasi diatas baku mutu yaitu sekitar 18,01-27,33 ppm [11]. Di muara Sungai Tallo mengandung logam berat Pb dengan kadar rata-rata 110,44 mg/kg dari baku mutu yang ditetapkan adalah 36 mg/kg, hal ini terkait dengan pedoman kualitas sedimen. Sedimen pada perairan Sungai Tallo memiliki kemampuan yang tinggi dalam mengikat logam karena karakteristik sedimennya yang berlumpur dan memiliki ukuran partikel halus dengan kadar bahan organik yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Pb dalam sedimen dan air pada Sungai Tallo telah melebihi baku mutu lingkungan atau nilai ambang batas [10].

Salah satu upaya untuk menangani dampak dari logam timbal (Pb) di lingkungan perairan yaitu memanfaatkan bakteri, karena mempunyai sifat daya resisten terhadap logam berat melalui pengikatan logam berat, dengan memproduksi protein pada permukaan dinding selnya. Bakteri mempunyai kemampuan melakukan aktifitas metabolisme melalui mekanisme biokimia dalam masa perkembangan dan pertumbuhannya. Bakteri dalam proses ini memerlukan nutrisi yang didapatkan dari organisme lain ataupun dari lingkungan sekitarnya [12,13]. Mekanisme biokimia terjadi melalui reaksi enzimatik yang diatur dengan katalis biologis secara bertahap. Aktivitas metabolisme oleh bakteri karena memiliki kemampuan untuk mensintesis dan merombak senyawa kompleks seperti protein, lemak, karbohidrat, dan asam nukleat [14].

2. Metodologi Penelitian

Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Terpadu Fakultas dan di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar, pada Februari – Agustus 2019.

Pengambilan Sampel dan Bahan

Sampel yang diambil adalah air sungai dan sedimen dari Sungai Tallo, dengan alasan sungai ini telah tercemar logam timbal (Pb) [11]. Sampel selanjutnya dimasukkan ke dalam wadah plastik steril untuk dilakukan pengamatan mikrobiologi di laboratorium. Media pertumbuhan yang digunakan adalah *nutrient agar* dengan komposisi adalah 0,5% pepton, 0,3% ekstrak daging, 1,5% agar, 0,5% NaCl dalam 1000 mL aquades.

Media Seleksi Bakteri Resisten Pb

Untuk seleksi bakteri resisten logam Pb dibuat pada media *nutrient agar* 100 mL dalam erlenmeyer, diatur pada pH 7. Kemudian dipanaskan dan dilakukan pengadukan sampai homogen, selanjutnya dilakukan sterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121°C, tekanan 2 atm selama 15 menit. Setelah disterilkan dibiarkan tidak terlalu panas, kemudian ditambahkan 10 ppm Pb(NO)₃.

Isolasi Bakteri Resistensi Logam Timbal (Pb)

Bakteri resistensi logam Pb diisolasi dari sampel sedimen diambil sebanyak 5 gr dan dilakukan pengenceran secara berseri menggunakan aquades steril dari 10⁻¹ – 10⁻⁵. Dari pengenceran diambil 1 mL kemudian diinokulasikan pada media pertumbuhan *nutrient agar* dengan penambahan 10 ppm Pb (NO)₃. Selanjutnya, dilakukan inkubasi selama 2 x 24 jam pada suhu 37°C. Untuk perlakuan sampel air, diambil 1 mL lalu dilakukan pengenceran berseri menggunakan aquades steril dari 10⁻¹ – 10⁻⁵. Dari pengenceran 1 mL dipipet untuk diinokulasikan pada media pertumbuhan *nutrient agar* yang mengandung 10 ppm Pb(NO)₃. Selanjutnya, dilakukan inkubasi selama 2 x 24 jam pada suhu 37°C. Lalu dilakukan pengamatan dan menghitung jumlah koloni dengan metode SPC (*Standart Plate Count*). Koloni bakteri yang tumbuh merupakan bakteri yang resisten terhadap logam Pb. Tahap pemurnian isolat, setiap koloni yang berbeda dalam morfologi secara makroskopis diinokulasi pada medium *nutrient agar* miring dalam tabung reaksi.

Karakterisasi Isolat

Karakterisasi isolat meliputi morfologi secara makroskopis dengan mengamati ciri pertumbuhan koloni seperti warna, tepi, permukaan dan tekstur [12]. Karakteristik sel secara mikroskopis dengan pengecatan gram dan pengecatan endospora dilakukan untuk mengelompokkan isolat yang diperoleh [14].

Karakterisasi Biokimia

Setiap jenis koloni yang berbeda, diinokulasi pada agar miring dalam tabung reaksi sebagai bahan kultur untuk uji pada beberapa jenis uji biokimia, meliputi uji fermentasi gula pada media TSIA, uji kemampuan mengoksidasi glukosa memproduksi asam menggunakan media MRVP, uji indol untuk melihat kemampuan bakteri mengurai triptofan dan uji motil yaitu dengan media SIM, uji sitrat dengan media *simmons citrate*, uji nitrat pada media nitrat agar, dan uji urea pada media urea agar [14].

3. Hasil dan Pembahasan

Isolasi Bakteri Resisten Pb

Isolat bakteri yang resisten pada logam Pb hasil isolasi dari sampel sedimen dan air Sungai Tallo tercemar Pb, ditumbuhkan dengan menginokulasikan pada media pertumbuhan *nutrient agar* yang mengandung 10 ppm Pb, hasilnya diperoleh koloni bakteri yang tumbuh berasal dari sampel sedimen adalah lebih tinggi adalah 5,4 x 10¹¹ CFU/ml dibanding sampel air yaitu 1,4 x 10⁷ CFU/ml. Hal ini disebabkan logam berat Pb yang mencemari perairan, akan mengendap ataupun terjadi bioakumulasi dalam sedimen [15]. Koloni bakteri yang tumbuh tersebut diasumsikan sebagai kultur isolat bakteri yang memiliki sifat resisten atau daya tahan terhadap Pb setelah diinokulasikan pada media *nutrient agar* yang ditambahkan Pb 10 ppm.

Limbah logam berat yang mencemari lingkungan perairan mudah mengalami kelarutan dalam media air dan selanjutnya mengendap pada sedimen secara perlahan – lahan, tergantung pada kondisi lingkungan perairan [16]. Berdasarkan pada pengamatan morfologi koloni secara makroskopis diperoleh 13 jenis isolat. Morfologi koloni meliputi warna, tepi, tekstur dan ciri lainnya [11]. Selanjutnya dari hasil seleksi resistensi pada logam berat Pb terdapat 8 isolat bakteri yang memiliki resistensi pada logam berat Pb, yaitu 5 isolat dari sedimen (SM3, SM5, SM6, SM9, SM10) dan 3 isolat dari sampel air sungai (AR1, AR2, AR3).

Hasil ini dapat didukung bahwa kelompok bakteri dapat menyesuaikan diri terhadap lingkungan ekstrim yang tercemar logam Pb 10 ppm sampai 25 ppm. Mikroba yang hidup pada air yang tercemar dapat bertahan hidup pada lingkungan yang mengandung logam berat dengan konsentrasi yang tinggi. Bakteri yang resisten pada logam berat karena kemampuan bakteri dalam mendetoksifikasi efek logam berat melalui mekanisme khusus di dalam sel yang mampu mengikat Pb [15].

Morfologi Mikroskopis Sel Bakteri Resistan Pb

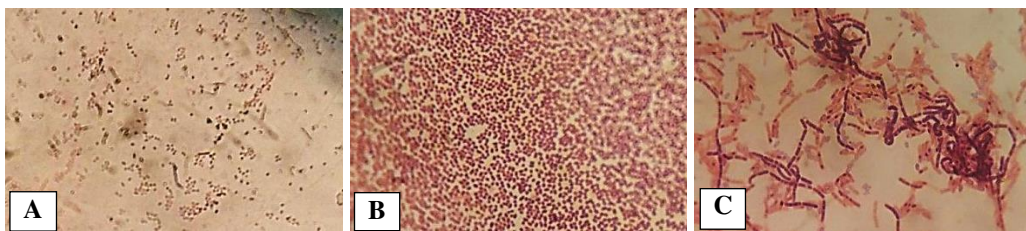
Berdasarkan hasil pengamatan koloni yang tumbuh pada media *nutrient agar* diperoleh 13 jenis isolat bakteri, berdasarkan ciri morfologi koloni. Selanjutnya dilakukan karakterisasi morfologi secara mikroskopis meliputi pengecatan Gram dan pengecatan endospore.

Tabel 1. Karakteristik isolat berdasarkan pengecatan Gram

Isolat	Sumber	Pengecatan Gram	
		Bentuk	Gram
SM1	sedimen	coccus	positif
SM2	sedimen	coccus	negatif
SM3	sedimen	coccus	negatif
SM4	sedimen	coccus	negatif
SM5	sedimen	coccus	negatif
SM6	sedimen	basil	negatif
SM7	sedimen	coccus	negatif
SM8	sedimen	coccus	negatif
SM9	sedimen	coccus	negatif
SM10	sedimen	basil	negatif
AR1	air	basil	negatif
AR2	air	coccus	negatif
AR3	air	coccus	negatif

Sumber: Hasil pengamatan peneliti

Pada hasil pengamatan isolat bakteri secara mikroskopis melalui pengecatan Gram yaitu 9 isolat bakteri Gram negatif berbentuk *coccus*, adalah isolat SM2, SM3, SM4, SM5, SM7, SM8, SM9, AR2, dan AR3, kemudian isolat SM1 juga berbentuk *coccus* dengan Gram positif. Sedangkan 3 isolat bakteri adalah Gram negatif dan berbentuk basil atau batang yaitu isolat SM6, SM10 dan isolat AR seperti pada **Tabel 1**. Hasil pengamatan karakteristik isolat bakteri berdasarkan pewarnaan Gram seperti pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hasil Pengecatan Gram bakteri diwakili oleh isolat SM1 bentuk coccus Gram positif (A), isolat SM2 bentuk coccus Gram negatif (B), dan isolat AR1 bentuk basil Gram negatif (C)

Sumber: Gambar pribadi hasil penelitian

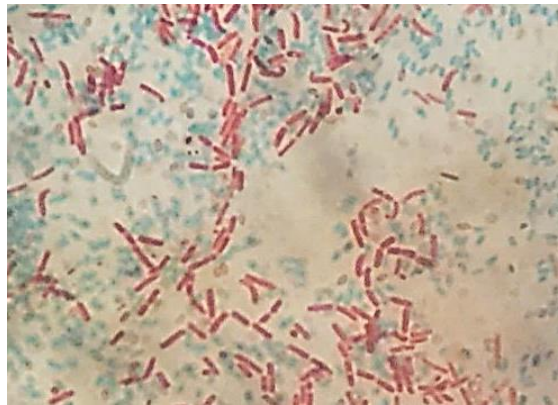
Bakteri yang memiliki Gram positif memperlihatkan ciri mikroskopis warna biru ungu, sedangkan bakteri Gram negatif menunjukkan karakteristik mikroskopis berwarna merah. Bakteri Gram positif mempunyai karakteristik ber dinding sel tebal, namun akan mengendor jika terkena dengan larutan alkohol yang menyebabkan rongga atau pori tertutup dan menghalangi lepasnya pewarna primer kompleks ketika dilakukan pengecatan. Sementara itu, bakteri Gram negatif dinding selnya terdiri dari kompleks lemak yang mudah larut ketika pembilasan dengan alkohol [17].

Tabel 2. Hasil pengecatan endospora

Isolat	Endospora
AR1	Ada
SM6	Tidak ada
SM10	Ada

Sumber: Hasil pengamatan peneliti

Pada hasil pewarnaan endospora, terdapat endospora pada 2 isolat bakteri setelah pengamatan dibawah mikroskop, yaitu isolat AR1 dan isolat SM10 dengan ciri berwarna hijau dan refraktil, sedangkan pada isolat SM6 tidak memperlihatkan adanya endospora pada **Tabel 2**. Hasil pengamatan karakteristik isolat bakteri berdasarkan pengecatan endospora dapat dilihat pada **Gambar 3**. Sesuai dengan sifat hidup bakteri, dapat mentolerir lingkungan yang tidak menguntungkan seperti salinitas tinggi, tekanan tinggi, nutrisi yang kurang, kondisi kering, terjadi pembekuan, adanya radiasi sinar ultraviolet dan kondisi lingkungan ekstrim yang lain yang dapat merusak sel bakteri [18].



Gambar 3. Pengecatan endospora diwakili oleh isolat SM10
Sumber: Gambar pribadi hasil penelitian

Karakteristik Biokimia Bakteri Resisten Pb

Hasil pengamatan uji biokimia meliputi uji penggunaan beberapa jenis substrat gula menggunakan media TSIA, uji H₂S, uji MRVP, uji motilitas, uji indol, uji urea, uji sitrat dan uji nitrat. Hasil dari beberapa uji biokimia pada bakteri dapat berbeda, ada juga yang sama hasilnya pada setiap jenis isolat bakteri seperti pada **Tabel 3**.

Berdasarkan uji TSIA menunjukkan glukosa dapat difermentasi oleh semua isolat, ditandai dengan adanya perubahan warna pada media menjadi kuning pada bagian *butt* yaitu pada 5 isolat SM3, SM5, SM6, SM9, SM10 dan isolat AR2. Hal ini menandakan bahwa isolat bakteri mampu memfermentasi sukrosa dan laktosa. Akan tetapi ada 2 isolat yang tidak mampu memfermentasi sukrosa dan laktosa yaitu isolat AR1 dan isolat AR3 yang menyebabkan pada media TSIA masih berwarna merah pada bagian *slant*.

Tabel 3. Karakteristik biokimia pada isolat bakteri resisten pada logam berat Pb

Kode isolat	Uji TSIA				MR	VP	Motilitas	Indol	Urea	Sitrat	Nitrat
	<i>Slant</i>	<i>Butt</i>	Gas	H ₂ S							
SM3	kuning	Kuning	-	-	+	+	+	-	+	+	+
SM5	kuning	kuning	+	-	+	+	+	-	+	+	+
SM6	kuning	Kuning	-	-	+	+	+	-	+	+	+
SM9	kuning	kuning	+	-	+	+	+	-	+	+	+
SM10	kuning	kuning	-	-	+	+	+	-	+	-	+
AR1	merah	Kuning	-	-	+	-	+	-	-	-	+
AR2	kuning	kuning	+	-	+	+	+	+	-	+	+
AR3	merah	kuning	-	-	+	-	+	-	-	-	+

Sumber: Hasil pengamatan peneliti

Pada tahap fermentasi yang terjadi pada media TSIA memproduksi senyawa asam format, selanjutnya mengalami oksidasi sempurna membentuk karbondioksida dan gas hidrogen yang dikatalisis oleh enzim *formate hydrogenase*. Gas hidrogen secara kimiawi tidak larut dalam media dan terjadi akumulasi dengan hasil bentukan gelembung udara di sekitar pertumbuhan isolat dalam media dan tabung, atau gelembung udara terbentuk pada bagian dasar tabung [17].

Dari hasil uji MR (*Methyl Red*), menunjukkan kemampuan semua isolat mampu memfermentasi asam campuran dengan ciri ada warna media berubah menjadi kemerah-merahan, diakibatkan oleh peningkatan asam atau penurunan pH pada media, dari senyawa asam yang dihasilkan pada fermentasi

glukosa. Pada uji VP (*Voges Proskauer*), terdapat 6 isolat yang positif dengan ciri media berwarna merah sebagai bukti bakteri dapat melakukan fermentasi bahan karbohidrat menghasilkan produk utama yaitu 2,3-butanadiol. Selain itu, terdapat 2 isolat yang negatif dengan adanya warna medium menjadi kuning setelah ditambahkan KOH 40% dan α -naftol [19].

Pada hasil pengamatan uji motilitas memperlihatkan ada sifat motil pada semua isolat. Adanya sifat motil pada bakteri akan memperlihatkan perambatan di sekitar tusukan dalam media yang telah diinokulasikan. Sifat motil bakteri akibat dari sifat taksis oleh adanya rangsangan dari faktor lingkungan. Mekanisme motilitas bakteri yaitu tumbuh dengan pola menyebar di sekitar inokulasi kultur bakteri dengan cara penusukan. Pola penyebaran dapat terlihat dengan terbentuknya pertumbuhan berwarna putih seperti akar di sekitar inokulasi. Pada hasil pengamatan dari uji indol terdapat 1 isolat bakteri yang mampu menghasilkan indol yang ditandai dengan terbentuknya cincin indol berwarna merah. Sedangkan 7 isolat bakteri lainnya tidak memproduksi indol. Hal ini dapat dilihat ketika ditambahkan reagen *kovach* warna merah tidak terbentuk [17]. Uji indol dilakukan untuk mengetahui kemampuan metabolisme bakteri pada asam amino triptofan yang terdapat dalam protein, dirombak menghasilkan indol. Dengan mekanisme ini, asam amino triptofan akan lebih mudah dimanfaatkan oleh bakteri dari penguraian protein [19].

Berdasarkan hasil uji urease, memperlihatkan 5 isolat bakteri bersifat positif dengan adanya perubahan warna pada media urease menjadi warna merah. Pada 3 isolat bakteri lainnya adalah negatif dengan warna media yang tetap berwarna kuning. Hal ini disebabkan karena bakteri tidak dapat memproduksi enzim urease yang merombak molekul urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}_2$) menghasilkan karbondioksida (CO_2) dan amonia (NH_3). Uji urease dimanfaatkan untuk mengidentifikasi kapasitas bakteri dalam mendegradasi urea oleh enzim urease. Molekul amonia yang terbentuk membuat nilai pH memiliki sifat alkali terjadi warna merah muda pada media berarti tes positif [17,19].

Pada hasil uji sitrat, terdapat 5 isolat bakteri yang menunjukkan hasil positif, yaitu isolat SM3, SM5, SM6, SM9, dan isolat AR2. Hal ini ditandai dengan terjadinya perubahan warna medium menjadi biru. Selain itu, terdapat 3 isolat yang menunjukkan hasil negatif, yaitu isolat SM10, AR1, dan isolat AR3. Hal ini dikarenakan warna medium tidak mengalami perubahan yaitu tetap berwarna hijau. Berdasarkan hasil uji nitrat, menunjukkan semua isolat bakteri menunjukkan hasil yang positif mampu mereduksi nitrat menjadi nitrit yang ditandai dengan terjadinya perubahan warna menjadi merah [17].

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh 8 isolat bakteri yang resisten terhadap logam berat Pb dari Sungai Tallo Makassar yaitu terdiri dari 5 isolat dari sampel sedimen dan pada sampel air diperoleh 3 isolat; karakteristik morfologi secara mikroskopik menunjukkan ada persamaan pada karakteristik setiap isolat bakteri pada pengamatan morfologi sel. Dari uji biokimia meliputi uji kemampuan fermentasi gula, kemampuan menggunakan glukosa, motilitas, indol, urea, sitrat, dan nitrat menunjukkan isolat bakteri memiliki persamaan dan perbedaan.

5. Referensi

- [1] Y.M. Hardiyanti, F Fahrudin, and P. Taba, "Effect of heavy metals accumulation of cadmium (Cd) on leaf chlorophyll green champa (*Polyaltia longifolia*) in Industrial Area Makassar, South Sulawesi," *Advances in Environmental Biology*, vol. 14, pp.16-20, 2020.
- [2] F. Fahrudin, N. Haedar, A. Abdullah, W. Abdul, dan R. Rifaat, "Deteksi unsur logam dengan XRF dan analisis mikroba pada limbah air asam tambang dari pertambangan di Lamuru - Kabupaten Bone," *Jurnal Geoelebes*, vol. 4, pp. 7-13, 2020.
- [3] Darmono, "*Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*," Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta, 2001.
- [4] R. E. Tanjung, F. Fahrudin, and M. F. Samawi, "Phytoremediation relationship of lead (Pb) by *Eichhornia crassipes* on pH, BOD and COD in groundwater," *J Phys Conf Ser*, vol. 1341, pp. 1-6, 2019.
- [5] T.M. Palapa and A.A. Maramis, "Heavy metals in water of stream near an amalgamation tailing ponds in TalawaanTatelu gold mining, North Sulawesi, Indonesia," *Procedia Chem*, vol.14, pp. 428-436, 2015.
- [6] R. E. Tanjung, F. Fahrudin, and F. Samawi, "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*, vol.13, pp.10-15, 2020.

- [7] Zulfahmi, A.S.N. Syam, dan Jufriadi, "Dampak sedimentasi Sungai Tallo terhadap kerawanan banjir di Kota Makassar," *Plano Madani*, vol 5, pp180-191, 2016.
- [8] S. Suhadiyah, "Keanekaragaman dan fungsi ekonomi flora di Delta Lakkang, Sungai Tallo, Makassar," Sulawesi Selatan." *Seminar Nasional Masyarakat, Biodiversitas Indonesia*, Juni 2015
- [9] Arifuddin, M. T. Ishak, R.Ibrahim, "Pengembangan kawasan Sungai Tallo: sebuah upaya Peningkatan kualitas Kota Makassar," *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI*, 2013
- [10] T. Indarwati, S. Mahendra, dan W. Arthana, "Analisis kadar logam berat air sungai Sekonyer Kabupaten Kotawaringin Barat Kalimantan Tengah," *Ecotrophic*, vol. 2, pp. 1-10, 2007.
- [11] M. Roem, "Distribusi Pb pada beberapa organ ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) dari perairan muara Sungai Karajae Pare-Pare dan muara Sungai Tallo Makassar," *Skripsi*, Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar, 2007.
- [12] F. Fahrudin and R. E. Tanjung, "The study of bacteria populations in phytoremediation of cadmium using *Eichhornia crassipes*," *J Phys Conf Ser*, vol.1341, pp. 1-8, 2019.
- [13] J. S. Hamilton and P. M. Mehrle, "Metallothionein in fish: review of its importance in assessing stress from metal contaminants," *Journal Transactions of the American Fisheries Society*, vol.115, pp.590-609, 1986.
- [14] F. Fahrudin, E. Johannes, and Z. Dwyana, "Antifouling potential of *Thalassia hemprichii* extract against growth of biofilmforming bacteria," *Scienceasia*, vol. 45, pp. 21-27, 2019.
- [15] Fahrudin, N. Haedar, S. Santosa, dan S. Wahyuni, "Uji kemampuan tumbuh isolat bakteri dari air dan sedimen Sungai Tallo terhadap logam timbal (Pb)," *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, vol.10, pp. 58 – 64, 2019.
- [16] S. Wulandari, "Identifikasi bakteri pengikat timbal (Pb) pada sedimen di perairan Sungai Siak," *Jurnal Biogenesis*, Vol 1, pp. 62-65, 2005.
- [17] J.G. Cappucino and N. Sherman, *Microbiology: A Laboratory Manual, 6th Edition*, Pearson Education Inc. San Fransisco, USA, 2001.
- [18] H. Thoyib, R. Setyaningsih, and Suranto, "Selection and identification of xylanase producing alkaliphilic bacteria isolated from soil in Krakitan hill, Bayat, Klaten," *Bioteknologi*, vol.4, pp.6-12, 2007.
- [19] M. J. Pelczar dan E.C.S. Chan, *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, Universitas Indonesia, Jakarta, 1986.