

SKRIPSI

**ISOLASI DAN UJI RESISTENSI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)
PADA BAKTERI DARI SEDIMEN MANGROVE
BIRINGKASSI KABUPATEN PANGKEP**

RAHMAYANA

H041 18 1501



**DEPARTEMEN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**ISOLASI DAN UJI RESISTENSI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)
PADA BAKTERI DARI SEDIMEN MANGROVE
BIRINGKASSI KABUPATEN PANGKEP**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

RAHMAYANA

H041181501

**DEPARTEMEN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ISOLASI DAN UJI RESISTENSI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)
PADA BAKTERI DARI SEDIMEN MANGROVE
BIRINGKASSI KABUPATEN PANGKEP**

Disusun dan diajukan oleh:

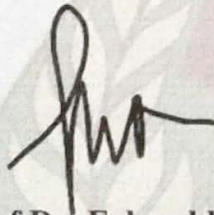
RAHMAYANA

H041 18 1501

**Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
Pada tanggal, 18 Oktober 2022
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan**

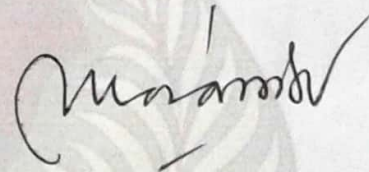
Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Fahrudin, M.Si
NIP. 196509151991031002

Pembimbing Pertama



Dody Priosambodo, S.Si, M.Si
NIP. 197605052001121002

Ketua Program Studi



Dr. Magdalena Litaay, M.Sc
NIP. 196409291989032002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang Bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rahmayana

NIM : H041181501

Departemen : Biologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

**Isolasi Dan Uji Resistensi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Bakteri Dari
Sedimen Mangrove Biringkassi Kabupaten Pangkep**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari skripsi saya ini terbukti bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta, maka saya siap menerima sanksi.

Makassar, 18 Oktober 2022

Yang menyatakan


Rahmayana

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Alhamdulillah rabbil'alamin puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, atas limpahan rahmat, hidayah serta karunia-Nya sehingga penulis diberi kelancaran dalam menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam tak lupa pula dihaturkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad S.A.W. Sebagai sosok suri tauladan bagi umat Islam yang telah membawa umat manusia dari zaman yang gelap menuju ke zaman terang benderang dengan perkembangan ilmu pengetahuan seperti saat ini, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul "***Isolasi dan Uji Resistensi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Bakteri Dari Sedimen Mangrove Biringkassi Kabupaten Pangkep***". Penyusunan skripsi ini merupakan tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan program pendidikan Sarjana (S1) pada Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Dalam penyelesaian skripsi ini, perkenankan penulis untuk mengucapkan rasa terima kasih yang teramat besar kepada kedua orang tua saya Rafina dan Mardiana serta adik saya Ariel akan doa, semangat dan motivasinya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis haturkan kepada Bapak Prof. Dr. Fahrudin, M.Si selaku pembimbing utama dan Bapak Dody Priosambodo S.Si, M.Si selaku pembimbing pertama, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya dalam memberikan bimbingan dan arahan serta motivasi kepada penulis selama penelitian hingga selesainya penulisan skripsi ini.

Selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi ini, penulis juga banyak mendapat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Rektor Prof. Dr.Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajarannya.
2. Bapak Dr. Eng. Amiruddin, M.Si selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Dr. Nur Haedar, M.Si, selaku Ketua Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
4. Bapak Andi Arfan Sabran, S.Si, M.Kes selaku Penasehat Akademik yang senantiasa memberikan arahan kepada penulis sejak penulis memulai studi hingga selesai.
5. Tim Penguji, Ibu Dr. Zohra Hasyim, M.Si. dan Bapak Andi Arfan sabran, S.Si, M.Kes.
6. Bapak/Ibu Dosen dan pegawai Departemen Biologi yang senantiasa membantu penulis sehingga dapat mencapai gelar sarjana.
7. Kakak Fuad Gani, S.Si, penulis ucapkan terima kasih atas ilmu, saran dan bantuan yang diberikan selama penulis menjalankan studi dan penelitian di Laboratorium Mikrobiologi.
8. Sahabat Penulis, Luthfiah Septi Nurfadillah, Mega Karunia Sari, Sitti Khadijah, Fitriana dan Jumariah yang telah menemani penulis baik suka maupun duka dari awal perkuliahan sampai saat ini.
9. Sahabat Penulis, Virda Fabiola Mondigir dan Eka Buqra Pratama.S yang selalu memberikan semangat hingga sampai saat ini.

10. Teman-teman peneliti di Lab Mikrobiologi, Sitti Khadijah dan Mutia Putri Jamaluddin terima kasih telah kebersamai selama penelitian.
11. Teman-teman Biologi 2018 Bioaffinity yang telah memberikan semangat, dukungan dan doa hingga penyusunan skripsi ini berjalan dengan lancar.
12. Semua pihak yang ikut terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih banyak.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna sehingga penulis menerima kritik dan saran. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua dan bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarokatoh

Makassar, 22 Agustus 2022

Penulis

ABSTRAK

Logam berat timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang paling banyak mencemari lingkungan dan memiliki dampak toksisitas pada manusia dan organisme lainnya. Upaya untuk mengurangi pencemaran timbal (Pb) dapat dilakukan dengan memanfaatkan bakteri pereduksi logam timbal (Pb) sebagai agen bioremediasi. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh isolat bakteri resisten pada logam timbal (Pb) dan mengetahui karakteristiknya. Sampel diperoleh dari sedimen mangrove, karena tumbuhan mangrove dapat mengakumulasi logam berat dan memiliki keanekaragaman mikroorganisme yang tinggi. Penelitian ini meliputi uji resistensi bakteri terhadap beberapa konsentrasi timbal (Pb) dengan metode turbidimetri, serta uji biokimia untuk mengetahui karakteristik isolat bakteri. Hasil isolasi diperoleh 6 isolat bakteri resisten timbal memiliki daya resisten yang baik pada konsentrasi 10-50 ppm. Dari keenam isolat bakteri, isolat yang paling baik pada uji resistensi yaitu isolat bakteri AK 2 yang ditunjukkan dengan tingginya nilai *optical density* (OD) sebesar 0,49. Hasil karakterisasi keenam isolat bakteri memiliki karakteristik yang berbeda baik dari pengamatan morfologi sel, pengecatan gram maupun uji biokimia.

Kata Kunci: Isolat Bakteri, Logam Berat Timbal, Sedimen mangrove, Uji Resistensi.

ABSTRACT

Heavy metal lead (Pb) is one of the most abundant heavy metals in the environment and has a toxic impact on humans and other organisms. Efforts to reduce lead (Pb) pollution can be done by utilizing lead-reducing bacteria (Pb) as bioremediation agents. This study aims to obtain the type of bacterial isolates resistant to Pb metal and determine its characteristics. Samples were obtained from mangrove sediments, because mangrove plants can accumulate heavy metals and have a high diversity of microorganisms. This research includes a test of bacterial resistance to several concentrations of lead (Pb) using the turbidimetric method, as well as a biochemical test to determine the characteristics of bacterial isolates. The results of the isolation obtained were 6 isolates of lead-resistant bacteria had good resistance at a concentration of 10-50 ppm. Of the bacterial isolates, the isolate with the best resistance was isolate AK 2 which was indicated by an optical density (OD) value of 0.49. The results of the characterization of bacteria have different characteristics, both from observing cell morphology, gram staining and biochemical tests.

Keywords: Bacterial Isolate, Lead Heavy Metal, Mangrove Sediment, Resistance Test.

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
HALAMAN SAMPUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan Penelitian	3
I.3 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II.1 Logam Berat	4
II.1.1 Logam Berat Timbal (Pb)	5
II.1.2 Dampak Logam Berat Timbal (Pb).....	5
II.2 Peranan Mangrove Dalam Mengakumulasi Logam Berat.....	6
II.3 Bakteri yang Resisten Terhadap Timbal (Pb).....	8
II.4 Mekanisme Resistensi Bakteri Terhadap Logam Berat Timbal (Pb)	11
BAB III METODE PENELITIAN.....	13
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	13

III.2 Alat	13
III.3 Bahan.....	13
III.4 Metode Penelitian.....	13
III.4.1 Pengambilan Sampel.....	13
III.4.2 Isolasi Bakteri	14
III.4.3 Pemurnian Isolat Bakteri	15
III.4.4 Pembuatan Stok Bakteri.....	15
III.4.5 Uji Resistensi Isolat Bakteri Terhadap Timbal (Pb).....	16
III.4.6 Karakterisasi Isolat Bakteri.....	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
IV.1 Isolasi Bakteri Resistensi Timbal (Pb) Dari Sedimen Mangrove	19
IV.2 Uji Resistensi Isolat Bakteri Pada Beberapa Konsentrasi Timbal (Pb)	23
IV.3 Pengamatan Morfologi Sel Isolat Bakteri Resisten Timbal.....	26
IV.4 Hasil Uji Biokimia Isolat Bakteri Resisten Timbal (Pb).....	27
IV.4.1 Uji <i>Triple Sugar Iron Agar</i> (TSIA).....	28
IV.4.2 Uji <i>Sulfid Indol Motility</i> (SIM).....	30
IV.4.3 Hasil Uji <i>Simmon's Citrate Agar</i> (SCA).....	32
IV.4.4 Hasil Uji MR (<i>Methyl red</i>)	33
IV.4.5 Hasil Uji VP (<i>Voges Proskauer</i>)	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	36
V.1 Kesimpulan.....	36
V.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Bacillus</i> sp.....	8
Gambar 2. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	9
Gambar 3. <i>Micrococcus luteus</i>	10
Gambar 4. <i>Alcaligenes fecalis</i>	10
Gambar 5. Mekanisme Penyerapan Timbal (Pb) Pada Bakteri.....	12
Gambar 6. Lokasi Titik Pengambilan Sampel Sedimen Mangrove	14
Gambar 7. Hasil Pemurnian Isolat Bakteri.....	21
Gambar 8. Morfologi Koloni Isolat Bakteri Resisten Timbal	23
Gambar 9. Pertumbuhan Isolat Bakteri Pada Perlakuan Berbagai Konsentrasi Logam Timbal.....	24
Gambar 10. Hasil Hasil pengecatan gram Bakteri	27
Gambar 11. Hasil Uji TSIA Bakteri Resisten Timbal.....	29
Gambar 12. Hasil Uji SIM Bakteri Resisten Timbal.....	31
Gambar 13. Hasil Uji SCA Bakteri Resisten Timbal	33
Gambar 14. Hasil Uji MR Bakteri Resisten Timbal.....	34
Gambar 15. Hasil Uji VP Bakteri Resisten Timbal.....	35

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perhitungan jumlah koloni bakteri dengan metode SPC dari ketiga titik pengambilan sampel.....	20
Tabel 2. Karakteristik Morfologi Koloni Bakteri.....	22
Tabel 3. Karakteristik Sel Isolat Bakteri Berdasarkan Pengecatan Gram.....	26
Tabel 4. Hasil pengamatan hasil uji biokimia isolat bakteri resisten timbal	28

LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja Penelitian.....	42
Lampiran 2. Skema Kerja Isolasi Bakteri Resistensi Timbal (Pb).....	43
Lampiran 3. Skema Kerja Uji Resistensi Bakteri Pada Beberapa Konsentrasi Timbal (Pb)	44
Lampiran 4. Skema Pengecatan Gram	45
Lampiran 5. Skema Kerja Uji TSIA (<i>Triple Sugar Iron Agar</i>).....	46
Lampiran 6. Skema Kerja Uji MR (<i>Methyl Red</i>)	47
Lampiran 7. Skema Kerja Uji VP (<i>Voges-Proskauer</i>)	48
Lampiran 8. Skema Kerja Uji SIM (<i>Sulfide Indole Motility</i>).....	49
Lampiran 9. Skema Kerja Uji SCA (<i>Simmons Citrate Agar</i>)	50
Lampiran 10. Hasil Isolasi Bakteri Resisten Timbal Sampel Sedimen Mangrove	51
Lampiran 11. Hasil Pemurnian Isolat Bakteri Resisten Timbal Sampel Sedimen Mangrove	52
Lampiran 12. Hasil Uji <i>Triple Suga Iron Agar</i> (TSIA) Isolat Bakteri Resisten Timbal Sampel Sedimen Mangrove.....	53
Lampiran 13. Hasil Uji <i>Simmons Citrate Agar</i> (SCA) Isolat Bakteri Resisten Timbal Sampel Sedimen Mangrove.....	54
Lampiran 14. Hasil Uji <i>Sulfide Indole Motility</i> (SIM) Isolat Bakteri Resisten Timbal Sampel Sedimen Mangrove.....	55
Lampiran 15. Hasil Uji <i>Methyl Red</i> (MR) Isolat Bakteri Resisten Timbal Sampel Sedimen Mangrove	56
Lampiran 16. Hasil Uji <i>Voges-Proskauer</i> (VP) Isolat Bakteri Resisten Timbal Sampel Sedimen Mangrove	57
Lampiran 17. Uji Resistensi Isolasi Bakteri Sedimen Mangrove Pada Beberapa Konsentrasi Timbal (Pb)	58
Lampiran 18. Dokumentasi Penelitian	62

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Saat ini, perkembangan industri yang semakin pesat memberikan dampak positif dan juga dampak negatif. Dampak positif yaitu keuntungan ekonomis, perluasan lapangan pekerjaan dan juga peningkatan kesejahteraan rakyat. Sedangkan dampak negatif yang ditimbulkan yaitu pencemaran lingkungan diakibatkan oleh peningkatan buangan limbah industri ke dalam lingkungan (Fretes *et al.*, 2019). Pencemaran lingkungan merupakan kontaminasi yang terjadi di suatu lingkungan karena terdapat bahan-bahan yang dapat merubah kualitas lingkungan sehingga bersifat membahayakan dan merugikan bagi manusia, hewan dan tumbuhan (Irawati, 2019). Terjadinya pencemaran dapat disebabkan oleh tertimbunnya zat polutan yang berasal dari kegiatan pertambangan, aktivitas pelabuhan, tumpahan minyak dari kapal, limbah rumah tangga dan kegiatan industrialisasi sehingga menghasilkan berbagai macam limbah yang mencemari lingkungan (Mastang, 2016). Salah satu zat polutan pencemaran yaitu logam berat (Kurnia *et al.*, 2015).

Logam berat adalah salah satu zat polutan pencemar yang bersifat racun pada ekosistem dan kesehatan masyarakat (Kurnia *et al.*, 2015). Logam berat merupakan kelompok logam yang memiliki massa jenis lebih besar dari 5g/cm^3 . Logam berat dianggap sebagai kunci pencemaran lingkungan yang terkait dengan potensial toksisitas (Abidina *et al.*, 2020). Logam berat beracun seperti Hg, Cr, Cu, Zn, Pb, dan Cd tidak memiliki peran biologis tetapi memiliki dampak toksisitas, mutagenik serta karsinogenik pada manusia dan organisme lainnya (Fretes *et al.*, 2019). Logam timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang paling banyak di perairan dan paling berbahaya (Angraeni dan Triajie, 2021). Logam berat timbal

dapat berkumpul dan tetap tinggal dalam tubuh suatu organisme dalam jangka waktu yang lama sebagai racun yang terakumulasi (Darmono, 1995).

Menurut Usman *et al* (2015), perairan Biringkassi, Kabupaten Pangkep memiliki potensi tinggi tercemarnya logam timbal (Pb). Tingginya kandungan logam timbal perairan Biringkassi dihasilkan dari aktivitas pelabuhan PT Semen Tonasa yang melayani aktivitas bongkar muat kapal pengangkut batubara dan semen curah. Selain itu terdapat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang membuang limbah cair ke perairan. Limbah logam berat pada perairan ini masuk ke wilayah pantai dan berpengaruh terhadap vegetasi mangrove (Usman *et al.*, 2015). Hal ini sesuai dengan kesepakatan secara global, bahwa tingkat logam berat yang dilaporkan dalam sedimen mangrove meningkat setiap tahun akibat dari polusi dan aktivitas yang disebabkan oleh pertumbuhan pembangunan dan urbanisasi (Anouti, 2014).

Tumbuhan mangrove merupakan tumbuhan pesisir yang dapat mengakumulasi logam berat yang berada di wilayah perairan (Supriyantini *et al*, 2017). Mangrove dapat dengan mudah mengakumulasi logam berat karena sifatnya yang unik seperti produktivitas tinggi, kaya bahan organik, butiran halus tanah lahan basah dan anoksik (Zhang *et al.*, 2014). Produktivitas ekosistem mangrove yang tinggi menyebabkan mikroorganisme memiliki keragaman yang tinggi. Keragaman mikroorganisme ini menyebabkan kebutuhan nutrient yang tinggi sehingga mikroorganisme bertanggung jawab terhadap proses degradasi (Holguin *et al*, 2001). Keragaman bakteri di hutan mangrove menunjukkan sumber potensial sumber daya bioteknologi yang baik untuk dieksplorasi, termasuk untuk menemukan spesies baru yang mampu dimanfaatkan dalam bidang industri, pertanian maupun pembersihan ekosistem dari polutan (Dias *et al.*, 2009).

Proses pemecahan senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana oleh organisme mikroskopis dikenal dengan bioremediasi (Sasikumar dan Papinazath, 2003). Proses bioremediasi dapat menggunakan bakteri penghasil metabolit yang mampu mendegradasi polutan kompleks menjadi senyawa sederhana (Hasminar *et al*, 2019). Kemampuan bakteri dalam menghasilkan metabolit ini disebabkan karena bakteri telah memiliki gen resistensi untuk bertahan terhadap racun logam berat yang ada di lingkungannya (Rismawati, 2019). Berbagai penelitian telah melaporkan beberapa genus bakteri yang resisten terhadap timbal (Pb) seperti *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. dan *Klebsiella* sp (Tiuquia, 2018). Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian isolasi dan uji kemampuan resistensi bakteri terhadap logam timbal (Pb) yang diisolasi dari sedimen mangrove Biringkassi, Kabupaten Pangkep sehingga dapat dimanfaatkan sebagai agen hayati dalam degradasi logam berat dari ekosistem yang tercemar.

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mendapatkan isolat bakteri resistensi timbal (Pb) yang berasal dari sedimen mangrove Biringkassi, Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan
2. Mengetahui kemampuan resistensi isolat bakteri pada beberapa konsentrasi timbal (Pb)
3. Mengetahui karakteristik isolat bakteri resistensi timbal (Pb)

I.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi mengenai bakteri resistensi timbal (Pb) yang diisolasi dari Sedimen Mangrove Biringkassi, Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai agen hayati dalam menanggulangi pencemaran lingkungan oleh logam berat timbal (Pb).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Logam Berat

Logam berat merupakan komponen alami yang berbahaya dan terdapat di permukaan bumi (Suhendrayatna, 2001). Logam berat mempunyai densitas lebih dari 5 g/cm^3 (Darmono, 1995). Pada makhluk hidup, logam berat termasuk unsur yang sangat diperlukan. Dengan kadar yang tidak berlebih, logam berat berperan sebagai *trace element*, logam berat esensial seperti tembaga (Cu), selenium (Se), Besi (Fe) dan Zink (Zn) yang dibutuhkan untuk menjaga metabolisme tubuh manusia. Namun sebaliknya, logam berat non esensial (elemen mikro) adalah logam berat yang tidak mempunyai fungsi didalam tubuh manusia, bahkan sangat berbahaya sehingga dapat menyebabkan keracunan (toksik) pada manusia, diantaranya: timbal (Pb), merkuri (Hg), arsenik (As) dan cadmium (Cd) (Yudo, 2006).

Logam berat merupakan bahan pencemar berbahaya karena sifatnya yang tidak dapat didegradasi (*non degradable*) oleh organisme, sehingga terakumulasi ke lingkungan, terutama mengendap di dasar perairan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara absorpsi dan kombinasi (Djuaningsih *et al.*, 1982). Biota air yang hidup dalam perairan yang tercemar logam berat, dapat mengakumulasi logam berat tersebut pada jaringan tubuhnya. Makin tinggi kandungan logam dalam perairan akan semakin tinggi pula kandungan yang terakumulasi dalam tubuh hewan tersebut (Kar *et al.*, 2008). Keberadaan logam-logam ini sangat berbahaya, meskipun dalam jumlah yang kecil. Berbagai aktivitas manusia seperti penambangan logam, pelapisan dan

pencampuran logam, industri minyak dan pigmen, pembuatan pestisida dan industri penyamakan kulit sangat berpotensi menghasilkan limbah yang mengandung logam berat (Igwe dan Abia, 2006).

II.1.1 Logam Berat Timbal (Pb)

Timbal atau timah hitam (Plumbum= Pb) merupakan jenis logam berat penyebab pencemaran (Gusnita, 2012). Logam timbal (Pb) termasuk ke dalam kelompok golongan IV-A pada tabel periodik unsur kimia. Timbal memiliki nomor atom (NA) 82 dengan berat atom 207,2 (Aminah dan Nur, 2018). Timbal (Pb) memiliki tekstur yang lunak, berbentuk padat pada suhu kamar, mempunyai empat bentuk isotop, berwarna kebiru-biruan atau abu-abu gelap dengan titik leleh pada 327,5°C dan titik didih pada 1740°C di atmosfer (Gusnita, 2012). Menurut Saryan dan Palar (1994), timbal dapat menguap pada suhu 550–600°C dan bereaksi dengan oksigen dalam udara membentuk timbal oksida. Bentuk oksidasi yang paling umum adalah timbal (II) (Palar, 1994). Timbal memiliki titik uap yang rendah dan dapat menstabilkan senyawa lain sehingga dapat digunakan dalam bidang industri (Lubis *et al.*, 2013). Umumnya, timbal jarang ditemukan dalam keadaan bebas, melainkan ditemukan berikatan dengan molekul lain, seperti $PbCl_2$ dan $PbBr_2$ (Gusnita, 2012).

II.1.2 Dampak Logam Berat Timbal (Pb)

Logam timbal (Pb) termasuk logam berat yang dikategorikan ke dalam bahan berbahaya dan beracun (B3) (Notodarmojo, 2005). Paparan timah hitam atau timbal (Pb) berlebihan merupakan masalah penting di dunia, dan merupakan risiko kesehatan lingkungan utama yang dihadapi berbagai negara baik di negara maju maupun di negara berkembang (Laila dan Shofwati, 2013). Limbah timbal (Pb) dapat masuk ke dalam perairan secara alamiah yakni dengan

pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Penggunaan timbal dalam skala yang besar dapat mengakibatkan polusi baik di daratan maupun perairan (Budiastuti *et al*, 2016). Dalam undang-undang No. 82 tahun 2001 pemerintah Republik Indonesia menetapkan bahwa air dikatakan tercemar jika kandungan logam timbal (Pb) lebih dari 0,03 mg/L dan cadmium (Cd) lebih dari 0,01 mg/L (Happy *et al.*, 2012).

Logam timbal (Pb) yang masuk ke dalam perairan sebagai dampak dari aktifitas manusia dapat membentuk air buangan atau limbah dan selanjutnya akan mengalami pengendapan yang dikenal dengan istilah sedimen. Kandungan logam berat timbal (Pb) di dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan kandungan logam berat yang masuk ke dalam perairan yang akan mengalami pengendapan pada sedimen. Tingginya kandungan timbal dalam sedimen akan menyebabkan biota air tercemar seperti ikan, kerang dan udang. Jika biota yang mengkonsumsi logam berat timbal (Pb) tersebut dikonsumsi oleh manusia maka memiliki dampak berbahaya bagi kesehatan (Budiastuti *et al*, 2016).

II.2 Peranan Mangrove Dalam Mengakumulasi Logam Berat

Mangrove atau yang sering disebut hutan bakau merupakan sebagian wilayah ekosistem pantai yang mempunyai karakter unik dan khas, dan memiliki potensi kekayaan hayati. Ekosistem mangrove adalah suatu sistem yang terdiri atas lingkungan biotik dan abiotik yang saling berinteraksi di dalam suatu habitat mangrove. Mangrove yang tumbuh di ujung sungai besar berperan sebagai penampungan terakhir bagi limbah dari industri di perkotaan dan perkampungan hulu yang terbawa aliran sungai. Limbah padat dan cair yang terlarut dalam air sungai terbawa arus menuju muara sungai dan laut lepas. Area hutan mangrove

akan menjadi daerah penumpukan limbah, terutama jika polutan yang masuk ke dalam lingkungan estuari melampaui kemampuan pemurnian alami oleh air (Mulyadi *et al*, 2009).

Menurut Dewi *et al* (2018), mangrove mempunyai karakter unik dan khas. Salah satu karakter unik dan khas yang dimiliki mangrove yaitu mangrove dapat berfungsi sebagai biofilter, agen pengikat dan perangkap polutan. Mangrove dapat mengurangi konsentrasi bahan pencemar yang terdapat di perairan. Selain bagian daun mangrove, akar mangrove juga mampu mengakumulasi logam berat (Dewi *et al*, 2018). Menurut Kariada dan Irsadi (2014) selain kemampuan untuk mengakumulasi logam berat berbeda untuk tiap spesies (Kariada dan Irsadi, 2014). Menurut Tam dan Wong (1996) kemampuan akumulasi logam berat pada tiap spesies berbeda. Tumbuhan mangrove mengakumulasi logam berat paling tinggi di akar. Namun demikian faktor lain seperti mobilitas dan kelarutan logam juga berpengaruh terhadap kandungan logam berat dalam tumbuhan (Tam dan Wong, 1996).

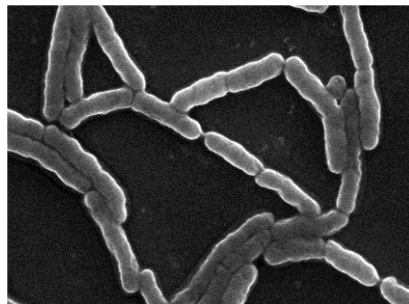
Organ akar mangrove memiliki kontak langsung dengan sedimen hal tersebut dapat menyebabkan organ akar memiliki kandungan logam yang tinggi (Dewi *et al*, 2018). Setiawan (2013) menyatakan bahwa besarnya kandungan logam berat yang terdapat di jaringan akar diduga karena jaringan akar mempunyai interaksi langsung dengan sedimen dan air yang telah terkontaminasi oleh logam berat yang mengendap (Setiawan, 2013). Sedimen pada mangrove memiliki keragaman mikroorganisme yang berperan penting dalam membantu mengakumulasi logam berat timbal (Pb). Menurut Aminullah *et al* (2015) Kemampuan mangrove dalam mengakumulasi logam berat timbal (Pb) selain

karena membentuk fitokhelatin juga karena bersimbiosis dengan mikroorganisme rhizobakteri. Rhizobakteri merupakan bakteri yang hidup pada daerah rhizosfer dan mengkolonisasi sistem perakaran tumbuhan (Syamsuddin dan Ulim, 2013). Penelitian Zulaika *et al* (2012) mengenai potensi rhizobakteri sebagai bioakumulator logam Pb menunjukkan bahwa rhizobakteri mampu mengakumulasi logam Pb hingga konsentrasi 25 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri pada sedimen mangrove berperan penting dalam mengakumulasi logam berat (Zulaika *et al*, 2012).

II.3 Bakteri yang Resisten Terhadap Timbal (Pb)

1. *Bacillus sp.*

Bakteri *Bacillus sp.* mempunyai ukuran 0.3-2.2 μm , digolongkan ke dalam bakteri sel berbentuk batang, bersifat motil (dapat bergerak), membentuk endospora tidak lebih dalam satu dalam satu sel sporangium, gram positif, aerob dan anaerob fakultatif. Morfologi *Bacillus sp.* dapat dilihat pada **Gambar 2.1**. Umumnya *Bacillus sp.* dapat dijumpai di tanah terutama pada tanah yang tercemar logam berat. Bakteri *Bacillus sp* sangat toleran terhadap toksisitas logam berat serta mampu menghilangkan logam berat dari lingkungan yang tercemar dan kemampuan menyerap logam berat tinggi seperti timbal (Pb) dan krom (Cr) (Jamilah dan Amri, 2017).



Gambar 2.1 *Bacillus sp.*
Sumber: Singh *et al.*, 2019

2. *Pseudomonas* sp.

Bakteri *Pseudomonas* sp. merupakan bakteri sel tunggal, mempunyai ukuran 0,5-1,0 x 1,5-5 μm , digolongkan ke dalam bakteri berbentuk batang lurus atau melengkung, *Pseudomonas* sp. dapat bergerak (motil) karena flagella. Morfologi *Pseudomonas* sp. dapat dilihat pada **Gambar 2.2**. Bakteri ini tumbuh secara aerob dan tidak membentuk spora. *Pseudomonas* sp. dapat menggunakan H_2 atau CO_2 sebagai sumber energi dan mampu mengolah sejumlah substrat organik yang umumnya banyak berperan dalam proses biotransformasi misalnya dalam mendegradasi minyak. *Pseudomonas* sp. dapat ditemukan di air limbah dan tanah (Jamilah dan Amri, 2017).

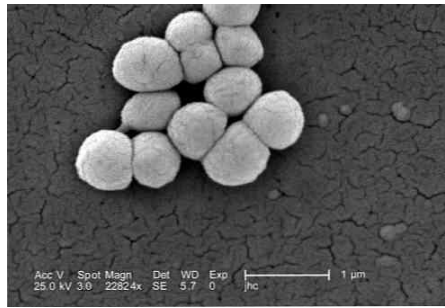
Pseudomonas sp. resisten terhadap logam berat seperti timbal (Pb), kromin (Cr) dan Kadmium (Cd) serta mampu menurunkan Cr^{5+} menjadi Cr^3 yang kurang toksik. *Pseudomonas* sp. mampu menghasilkan produk metabolit seperti asam organik dan metabolit seperti asam organik dan metabolit lain seperti H_2S dan ligan yang dapat menghilangkan ion-ion logam berat dari larutan atau merubah menjadi spesies yang kurang toksik. *Pseudomonas* sp. juga berhasil digunakan dalam bioremediasi ion cadmium (Cd) dalam larutan. Salah satu contoh bakteri *Pseudomonas* sp. yang toleran terhadap logam timbal yaitu *Pseudomonas aeruginosa* (Jamilah dan Amri, 2017).



Gambar 2.2 *Pseudomonas aeruginosa*
(Sumber: Hafeez *et al*, 2018).

3. *Micrococcus* sp.

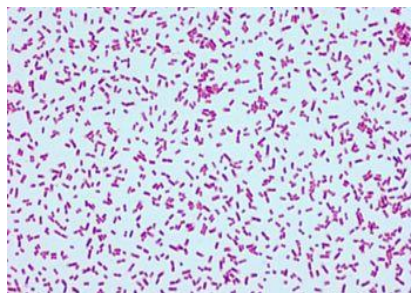
Bakteri *Micrococcus* sp. termasuk ke dalam bakteri gram positif, berbentuk coccus dengan ukuran koloni 0,1-0,4 mm. Bakteri ini bersifat non motil dan tidak membentuk spora (Greenblatt *et al*, 2004). Biomassa *Micrococcus* sp. digunakan untuk menghilangkan logam berat seperti Cd, Ni, Cu dan Pb. Spesies *Micrococcus* sp. yang toleran terhadap logam timbal yaitu: *Micrococcus kristinae*, *Micrococcus halobius* dan *Micrococcus luteus* (Anwar *et al*, 2017). Morfologi *Micrococcus luteus* dapat dilihat pada **Gambar 2.3**



Gambar 2.3 *Micrococcus luteus*
(Sumber: Puyen *et al*, 2012)

4. *Alcaligenes* sp.

Alcaligenes sp. dapat digolongkan ke dalam kelompok bakteri gram negative, bersifat aerobic dan dapat bergerak dengan bantuan flagel peritrik. Umumnya, bakteri ini tumbuh optimum pada suhu 37°C. Bakteri ini dapat ditemukan di tanah dan air. Salah satu spesies bakteri ini yang resisten terhadap logam berat seperti Pb, Hg, Cd dan Ni yaitu *Alcaligenes fecalis* (Abo *et al*, 2015). Morfologi *Alcaligenes fecalis* dapat dilihat pada **Gambar 2.4**



Gambar 2.4 *Alcaligenes fecalis*
(Sumber: Rehfuss dan Urban, 2005).

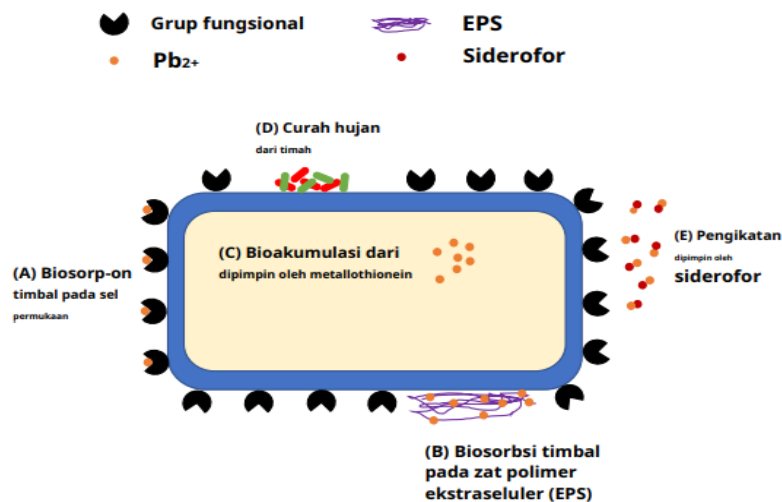
II.4 Mekanisme Resistensi Bakteri Terhadap Logam Berat Timbal (Pb)

Dampak logam pada proses biologis bakteri telah menyebabkan munculnya berbagai mekanisme resistensi. Mekanisme resistensi logam bakteri meliputi pengendapan logam sebagai fosfat, karbonat dan sulfida, akumulasi intraseluler dengan berat molekul rendah, protein kaya sistein, sekuestrasi ekstraseluler dalam biopolimer, mekanisme penghabisan yang bergantung pada energi, dan perubahan morfologi sel (Higham *et al*, 1984). Strain bakteri yang toleransi logam terbukti memiliki kemampuan untuk pemulihan atau penghilangan logam dari lokasi yang terkontaminasi dapat digunakan sebagai alat untuk melakukan bioremediasi. Pemanfaatan strain bakteri untuk remediasi logam berat baik di ekosistem darat dan akuatik dinilai hemat biaya dan sangat efisien dibandingkan dengan konvensional (Tiquia, 2018). Secara umum, bakteri lebih tahan terhadap logam daripada organisme eukariotik. Selain itu, bakteri adalah biosorben yang sangat baik karena rasio permukaan terhadap volumenya, dan karena tingginya jumlah situs penyerapan yang berpotensi aktif (Veglio *et al*, 1997).

Mekanisme resistensi bakteri terhadap logam berat timbal terjadi pada intraseluler dan ekstraseluler. Mekanisme secara intraseluler, terjadi mekanisme bioakumulasi logam timbal (Pb) yang diikat dengan metallothionein. Metallothionein merupakan protein kaya sistein yang memfasilitasi penyerapan atau bioakumulasi logam beracun di dalam sel. Bakteri mensintesis metallothionein sebagai respons terhadap peningkatan paparan logam (Tiquia, 2018). Sedangkan mekanisme secara ekstraseluler berfungsi untuk melindungi atau menghambat logam timbal (Pb) agar tidak masuk dan mengganggu kerja biologis mikroorganisme. Dinding sel adalah penghalang alami untuk logam beracun karena gugus fungsi dari beberapa makromolekul di dinding sel terlibat dalam pengikatan logam (Fomina dan Gadd, 2014). Dinding sel bakteri Gram-positif dan

Gram-negatif secara alami membawa muatan negatif, yang mengikat kation logam dan mengatur pergerakan logam melintasi membran. Gugus karboksil pada dinding sel bakteri Gram-positif adalah tempat pengikatan utama kation logam, sedangkan gugus fosfat berkontribusi signifikan terhadap pengikatan logam pada Gram-negatif (Tiquia, 2018).

Biosorpsi permukaan juga merupakan mekanisme sekuestrasi ekstraseluler logam berat beracun untuk mencegah masuknya logam berat ke dalam sel bakteri sehingga mempertahankan homeostasis logam. Biosorpsi logam dimediasi oleh beberapa mekanisme seperti pertukaran ion, khelasi, adsorpsi dan difusi melalui dinding sel dan membran (Naik dan Dubey, 2013). Mekanisme lain secara ekstraseluler yang dimiliki banyak bakteri toleran logam melibatkan penyerapan logam dengan mensekresi zat polimer ekstraseluler (EPS). EPS ini sangat relevan dengan proses bioremediasi karena keterlibatannya dalam proses flokulasi dan pengikatan ion logam dari larutan. EPS adalah campuran kompleks dari polimer polianionik dengan berat molekul tinggi, seperti protein, asam humat, polisakarida, dan asam nukleat yang mengikat logam kationik dengan tingkat spesifisitas dan afinitas yang berbeda (Tiuqia, 2018).



Gambar 2.5 Mekanisme Penyerapan Timbal (Pb) Pada Bakteri (Sumber: Tiquia, 2018).