

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Baterai Aki**

Baterai aki (Accu) adalah jenis baterai yang dipakai jenis kendaraan bermotor. Baterai aki adalah komponen penting yang dibutuhkan kendaraan bermotor seperti sepeda motor dan mobil untuk menggerakkan motor starter dan menghidupkan lampu. Aki adalah alat yang digunakan untuk menyimpan energi (energi listrik) dalam bentuk energi kimia (Kosasih, 2013). Dalam pembuatan baterai aki dibutuhkan logam-logam berbahaya yang termasuk dalam kategori bahan berbahaya beracun (B3) yaitu timbal, merkuri, nikel dan kadmium (Sunar, 2022).

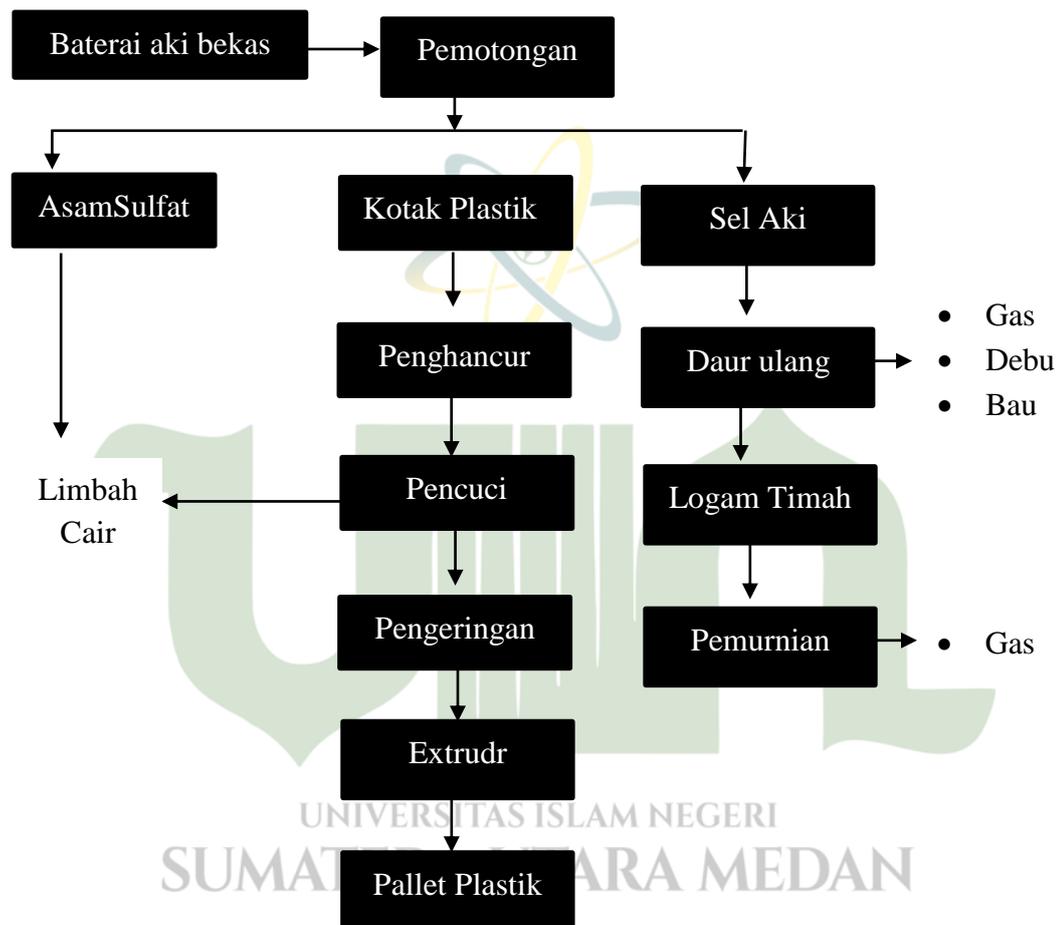
Timbal adalah logam yang paling banyak digunakan dalam pembuatan baterai aki. Timbal digunakan untuk bahan pembuatan sel-sel pada baterai aki (Daryanto, 2019). Sel pada baterai aki terdiri dari plat positif dan negatif. Plat positif (katoda) terbuat dari kandungan timbal oksida ( $PbO_2$ ) sedangkan pada plat negatif (anoda) terbuat dari bahan timbal atau (Pb) (Utomo, 2020).

Terdapat beberapa jenis baterai aki, diantaranya adalah aki basah, aki kering, aki kalsium, aki *hybrid* dan aki gel. Aki basah adalah baterai aki yang paling sering digunakan karena harganya yang relatif murah. Namun aki basah memiliki beberapa kekurangan diantaranya air aki yang cepat habis dan kandungan timbal yang tergolong tinggi yaitu 2,5% untuk masing-masing kutub sel. Aki kering juga merupakan salah satu jenis baterai aki yang umum digunakan di Indonesia. Sel pada baterai aki kering memiliki kandungan yang lebih rendah dibandingkan dengan aki basah yaitu 1,7% pada kutub positif dan menggunakan 1,7% kalsium pada kutub negatif sebagai pengganti timbal. Aki kering juga sangat minim perawatan, namun karena harganya yang mahal belum bisa menjadi pilihan terbaik untuk masyarakat (Sunar, 2022).

#### **2.2 Daur Ulang Baterai Aki dan Cemarannya**

Tujuan dari daur ulang baterai aki adalah untuk mendapatkan logam timbal (Pb) atau kotak (box) plastik yang akan dimanfaatkan kembali. Dari proses daur ulang yang dilakukan akan didapatkan dua jenis material yaitu logam berat yang

akan dimanfaatkan oleh pabrik aki, pabrik cat, pabrik tabung tv, dan isolasi radioaktif, sedangkan plastik box akan dimanfaatkan kembali oleh pabrik aki atau plastik. Proses daur ulang baterai aki masih banyak dilakukan oleh masyarakat dalam skala rumah tangga atau industri kecil sehingga dari proses daur ulang terdapat limbah yang bisa menyebabkan pencemaran lingkungan(Wiharja, 2004). Adapun skema dari proses daur ulang baterai aki adalah :



**Gambar 2.1** Proses daur ulang baterai aki (Wiharja, 2004)

Dari skema diatas, terlihat beberapa jenis cemaran yang dihasilkan saat proses daur ulang baterai aki seperti limbah cair, gas, debu dan bau. Limbah cair sisa dari proses daur ulang baterai aki adalah asam sulfat yang berasal dari air aki dan air pencucian kotak plastik. Gas dan debu yang terbentuk akibat proses daur ulang baterai aki mengandung gas-gas sisa hasil pembakaran yang bersifat *toxic* ,

SO<sub>2</sub>, dan Pb. Proses daur ulang baterai aki akan menimbulkan pencemaran terhadap udara dan tanah, sehingga dapat membahayakan makhluk hidup dan lingkungan (Bayuseno, P, 2009).

### 2.3 Pencemaran Lingkungan

Menurut undang-undang RI No. 32 Tahun 2009 tentang perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Bab I Pasal I Ayat 14, Pencemaran lingkungan adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Jadi pencemaran lingkungan dapat dikatakan sebagai suatu kondisi lingkungan yang memberikan dampak negatif terhadap makhluk hidup akibat ulah manusia. Pencemaran lingkungan dapat terjadi pada semua komponen lingkungan hidup baik biotik maupun abiotik. Pencemaran lingkungan pada komponen abiotik terjadi pada udara, tanah dan air serta pencemaran biotik meliputi flora, fauna, manusia bahkan mikroorganisme (Dewata & Danhas, 2018).

Manusia seharusnya mampu mengendalikan dirinya agar tidak melakukan hal yang dapat merusak bumi baik terhadap sumber daya alam maupun lingkungannya. Allah SWT berfirman dalam surat Al A'raf:56.

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya :

*“Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik”* (QS. Al-a'raaf : 56)

Ayat diatas menjelaskan tentang larangan bagi manusia untuk merusak bumi. Merusak merupakan salah satu perbuatan yang melampaui batas. Allah SWT telah menciptakan bumi beserta isinya dengan keadaan yang sangat harmonis dan serasi serta telah Allah penuhi segala kebutuhan makhlukNya. Allah juga memerintahkan hambaNya untuk memperbaikinya.

Semua kegiatan yang dilakukan manusia akan memunculkan bahan pencemar (polutan) terhadap lingkungan. Bahan pencemar adalah suatu hal yang tidak bisa dielakkan karena setiap aktivitas manusia akan menghasilkan bahan sisa atau limbah. Bahan sisa dibedakan berdasarkan wujudnya, yaitu cair, padat, serta gas dan partikel. Suatu zat dikatakan sebagai polutan jika zat tersebut dapat merugikan makhluk hidup yang ada di lingkungan atau zat tersebut berada di tempat dan waktu yang tidak tepat. Polutan memiliki dua sifat, yaitu merusak dalam waktu sementara dan merusak dalam waktu yang lama. Salah satu contoh polutan yang dapat merusak dalam waktu lama adalah timbal (Pb), karena Pb dapat terakumulasi dalam tubuh hingga dapat merusak kesehatan makhluk hidup (Muslimah, 2015).

Polutan dibedakan menjadi tiga jenis yaitu kimia, fisik dan biologi. Polutan kimia biasanya bersumber dari kegiatan industri yang tidak mengelola limbahnya dengan baik, atau beberapa limbah rumah tangga. Jenis polutan kimia diantaranya adalah logam (Hg, Pb, Cd, dan Cr), zat radio aktif, pestisida dan detergen. Polutan yang tergolong dalam jenis biologi adalah mikroorganisme misalnya bakteri *E.coli* yang bersumber dari kotoran makhluk hidup. dan polutan yang termasuk dalam jenis fisik adalah kaleng, botol dan plastik (Dewata & Danhas, 2018).

#### **2.4 Logam Berat**

Logam dibedakan menjadi dua jenis yaitu logam berat dan logam ringan. Penamaan jenis logam ini disesuaikan dengan bentuk dari logam tersebut. Logam yang memiliki berat kurang dari  $5\text{g/cm}^3$  maka dikatakan sebagai logam ringan, sedangkan logam dengan berat  $5\text{g/cm}^3$  atau lebih dinamakan sebagai logam berat (Adhani & Husaini, 2017). Logam berat adalah zat pencemar yang tidak dapat terdegradasi secara alami sehingga akan terakumulasi dengan komponen lingkungan seperti dalam air, tanah dan dalam tubuh organisme (Supriyantini & Soenardjo, 2016).

Logam berat termasuk zat yang dibutuhkan oleh makhluk hidup meski dalam jumlah yang sangat sedikit, logam berat seperti Zink (Zn), Besi (Fe),

tembaga (Cu) dan selenium (Se) dibutuhkan dalam menjaga metabolisme tubuh manusia. Logam esensial adalah logam yang dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam jumlah yang sedikit dan dapat menjadi racun dengan kadar yang berlebihan. Sedangkan logam nonesensial adalah logam yang tidak dibutuhkan dalam tubuh manusia dan dapat menjadi racun meski dalam kadar yang sangat sedikit, seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg) dan arsenik (As) (Adhani & Husaini, 2017).

#### **2.4.1. Tinjauan umum Timbal (Pb)**

Timbal adalah logam yang memiliki warna keputihan atau kelabu keperakan dan berkilau. Timbal memiliki nomor atom 82, bobot atom 207,20 g/mol, titik didih 1755°C dan titik leleh 327°C. Timbal memiliki sifat yang lunak sehingga bisa dipotong dengan menggunakan pisau dan mudah dibentuk. Timbal juga memiliki konduktor listrik yang lemah, sehingga timbal tidak mudah untuk berkarat. Timbal merupakan logam yang sangat beracun dan berbahaya terutama terhadap anak-anak (Irianti dkk 2017). Namun timbal banyak digunakan oleh orang-orang yang tidak bertanggungjawab pada benda-benda yang bersentuhan langsung dengan manusia. Misalnya pada pipa air, mainan anak-anak dan kosmetik.

#### **2.4.2. Toksisitas Timbal**

Toksisitas adalah tingkat merusaknya suatu zat terhadap makhluk hidup jika terpapar. Toksisitas dapat berdampak pada semua jenis makhluk hidup baik hewan, tumbuhan, dan bakteri. Timbal merupakan salah satu logam berat yang tidak mempunyai manfaat biologis dalam tubuh. Efek toksik timbal yang utama adalah pada sistem hematopoetik dan susunan saraf. Kandungan timbal dalam darah dapat mengakibatkan anemia karena terdapat hambatan pada asam  $\delta$ -Aminolevulinat Dehidratase dan Heme Sintesa (HS) yang merupakan bagian dalam pembentukan sel darah merah. Kerusakan akibat dari timbal menunjukkan gejala yang tidak sama sesuai dengan kadar timbal, umur terdampak, individu dan lamanya pajanan (Agustina & Lisdiana, 2023).

Timbal juga dapat memberikan dampak buruk pada sistem pencernaan seperti kolik, konstipasi, muntah dan menurunkan nafsu makan. Kandungan timbal yang masuk dalam peredaran darah dapat merusak ginjal pada hewan. Keracunan timbal yang paling sering terjadi adalah kelemahan, sakit kepala, tremor, gejala saluran pencernaan dan menurunnya berat badan (Fibrianti & Azizah, 2015). Makhluk hidup bisa mengalami keracunan timbal dari lingkungan maupun makanan. Cemaran timbal di lingkungan disebabkan oleh kegiatan manusia seperti pertambangan, dan industri (Agustina & Lisdiana, 2023).

## 2.5 Bioremediasi

Bioremediasi berasal dari kata “bio” yang memiliki arti makhluk hidup, khususnya tumbuhan, bakteri, alga dan kapang dan remediasi berasal dari kata “remediate” yang berarti menyelesaikan masalah (Wignyanto, 2020). Bioremediasi merupakan proses detoksifikasi polutan yang terdapat di lingkungan dengan memanfaatkan bantuan mikroba, tumbuhan atau biokatalisator (enzim) pada tumbuhan atau mikroba (Waluyo, 2018). Dapat dikatakan bahwa bioremediasi adalah cara untuk memulihkan kondisi lingkungan yang sudah tercemar dengan memanfaatkan makhluk hidup khususnya tumbuhan, alga atau mikroba.

Teknologi bioremediasi dengan memanfaatkan mikroba dibedakan menjadi tiga, yaitu biostimulasi, bioaugmentasi dan bioremediasi intrinsik (Farida & Dalya, 2016). Biostimulasi adalah proses penambahan zat gizi yang dibutuhkan oleh mikroorganisme seperti nutrisi dan oksigen atau menstimulasi kondisi lingkungan sehingga mikroorganisme dapat tumbuh dan beraktivitas dengan baik. Bioaugmentasi adalah proses menambahkan satu atau lebih jenis mikroorganisme ke lingkungan yang tercemar. Bioremediasi intrinsik adalah bioremediasi yang terjadi secara alami tanpa ada campur tangan manusia

Berdasarkan lokasi, bioremediasi dibedakan menjadi dua, yaitu ‘*ex situ*’ dan ‘*in situ*’. *Ex situ* adalah proses bioremediasi dengan memindahkan secara fisik bahan yang tercemar atau terkontaminasi ke lokasi tertentu untuk dilakukan proses penanganan lebih lanjut, misalnya dengan menggunakan bioreaktor, landfarming (pengolahan lahan), pengomposan dan lainnya. *In situ* adalah proses

bioremediasi yang dilakukan langsung di lokasi yang tercemar. Baik ex situ atau in situ dilakukan dengan banyak model yang berbeda, seperti dengan menambahkan nutrisi untuk merangsang degradasi mikroba asli (Biostimulasi) atau dengan menambahkan mikroba eksogen untuk mempercepat proses degradasi (Bioaugmentasi) (Farida & Dalya, 2016).

Pemanfaatan mikroorganisme telah dilakukan secara alami sejak dahulu, seperti pengolahan air pada saluran air. Pada tahun 1960 George M. Robinson telah melakukan bioremediasi dengan memanfaatkan berbagai macam campuran mikroba pada bejana kotor. Teknologi ini terus berkembang seiring dengan perkembangan industri karena pemanfaatan mikroorganisme kerap dihubungkan dengan permasalahan limbah buangan industri yang mengandung senyawa berbahaya. Polutan berbahaya akibat dari kegiatan industri seperti logam berat, dan senyawa organik terhalogenasi seperti pestisida dan herbisida.

## **2.6 Faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi**

Terdapat tiga faktor yang dapat memengaruhi bioremediasi yaitu mikroorganisme, nutrisi dan lingkungan. Tiga faktor tersebut saling berkaitan sehingga jika ada yang kurang meski hanya satu dapat berpengaruh terhadap hasil bioremediasi.

### **2.6.1. Mikroba**

Mikroba yang dapat dimanfaatkan dalam upaya bioremediasi tanah tercemar logam berat adalah mikroba yang telah diuji mampu bertahan hidup dan efektif dalam menurunkan logam berat. Mikroba yang bisa dimanfaatkan dalam bioremediasi logam berat seperti bakteri (*Pseudomonas sp*, *Bacillus sp* dan *Eschericia coli*); kapang (*Penicilum chrysogenum* dan *Aspergillus oryzae*) dan khamir (*Saccharomyces cerevisiae*) ( Rahadi et al., 2019).

### **2.6.2. Nutrisi**

Terdapat beberapa faktor yang dibutuhkan oleh bakteri untuk melakukan pertumbuhan, diantaranya adalah nitrogen (N), magnesium (Mg), karbon (C), besi (Fe), fosfor (P), belerang (S), kalsium (Ca) dan klorida (Cl). Keragaman metabolisme didalam sel mikroba memastikan unsur-unsur tersebut harus ada dalam bentuk dan jumlah yang tepat. Apabila ada unsur yang tidak ada maka hal

tersebut dapat mengganggu pertumbuhan mikroba dan sehingga laju penguraian menjadi lebih lambat (Hidayat & Chairil,2017).

### **2.6.3. Lingkungan**

Faktor lingkungan bisa memberikan pengaruh pada keefektifan mikroorganisme sehingga hasil bioremediasi kurang maksimal. Faktor lingkungan diantaranya adalah suhu, konsentrasi oksigen, ph, dan kelembaban tanah.

### **2.6.4. Suhu**

Suhu dapat mempengaruhi pertumbuhan dari bakteri dengan mempengaruhi laju reaksi enzimatik dan kimia dalam sel bakteri. Setiap bakteri memiliki suhu minimum, optimum dan maksimum untuk dapat bertahan hidup atau melakukan pertumbuhan. Suhu minimum adalah batas terendah bagi bakteri untuk dapat bertahan hidup, suhu optimum adalah suhu yang tepat bagi bakteri untuk melakukan pertumbuhan sedangkan suhu maksimum adalah suhu tertinggi bagi bakteri untuk bertahan hidup. Pada suhu optimum reaksi kimia dan enzimatik didalam bakteri akan meningkat sedangkan pada suhu minimum atau maksimum komponen didalam sel akan mengalami kerusakan (Nasution, 2022).

### **2.6.5. Konsentrasi oksigen**

Pada bioremediasi terdapat proses yang mendominasi yaitu proses oksidasi. Enzim-enzim bakteri akan mengkataliskan pemasukan oksigen kedalam hidrokarbon sehingga molekul bisa dikonsumsi oleh metabolisme sel. Penambahan oksigen pada proses bioremediasi bertujuan untuk penambahan penerima elektron. Mikroba membutuhkan oksigen baik oksigen yang bebas atau oksigen yang terlarut dalam air ( Farida & Dalyla, 2016).

### **2.6.6. Derajat keasaman (pH)**

Derajat keasaman (pH) adalah salah satu hal penting yang bisa memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan bakteri. Nilai pH minimum dan maksimum pada bakteri untuk melakukan pertumbuhan adalah 4-9 dan pH yang optimumnya adalah 6,5-7,5 atau netral. Apabila pH pada media atau lingkungan bakteri tidak sesuai maka hal itu dapat mengganggu aktivitas enzim yang dibutuhkan bakteri untuk mengkatalis reaksi-reaksi yang berhubungan dengan pertumbuhan bakteri (Fajar et al., 2022). Oleh karena itu pH merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam memanfaatkan bakteri sebagai agen bioremediasi.

### **2.6.7. Kelembaban**

Mikroorganisme tanah memerlukan kelembaban yang cukup untuk dapat tumbuh dan melakukan aktivitas. Tanah memiliki kelembaban ideal sekitar 20-80% dan batas kelembaban tanah 10% untuk bakteri yang hidup di tanah. Hal ini dikarenakan bakteri membutuhkan air untuk melakukan aktivitas didalam sel seperti reaksi enzim dan untuk transport masuk dan keluar sel ( Farida & Dalya, 2016).

### **2.7 Mekanisme Bioremediasi**

Mekanisme bioremediasi ada beberapa macam yaitu, biosorpsi, bioakumulasi,biotransformasi dan biomineralisasi. Bioremediasi pada tanah yang tercemar oleh logam menggunakan mekanisme biosorpsi. Biosorpsi merupakan teknologi pemanfaatan materi biologi untuk menurunkan kadar logam berat dari limbah melalui kemampuan adsorpsi fisika-kimia dari materi biologi tersebut. Proses biosorpsi terjadi karena adanya larutan yang mengandung logam berat dengan afinitas yang tinggi sehingga mudah terikat dengan biosorben. Pengikatan logam berat yang ada pada suatu larutan yaitu dengan cara pertukaran ion-ion pada dinding sel mikroorganisme digantikan oleh ion-ion logam berat. Kompleksitas ion logam berat yang bermuatan positif akan berinteraksi dengan pusat aktif yang bermuatan negatif pada permukaan dinding sel atau dalam polimer ekstra seluler, seperti protein dan polisakarida sebagai sumber gugus fungsi berperan penting dalam mengikat ion logam berat (Ratnawati et al., 2010).

Kemampuan bakteri dalam mengakumulasi logam disebabkan adanya kemampuan bakteri untuk menurunkan atau menghilangkan logam berat yang bersifat toksik. Cara yang dilakukan bakteri untuk mengakumulasi logam berat adalah dengan mengambil logam berat dari lingkungan. Pengambilan logam berat dari lingkungan oleh bakteri dibagi menjadi dua yaitu penangkapan pasif (passive uptake) dan penangkapan aktif (active uptake). Penangkapan pasif dikenal dengan biosorpsi, dimana pada proses ini ion logam berat akan terikat dengan dinding sel bakteri. Hal tersebut terjadi karena dua hal, pertama pertukaran ion dimana ion monovalent pada dinding sel seperti Na, Mg dan Ca akan bertukar dengan ion pada logam berat. Kedua, pembentukan kompleks ion-ion logam berat dengan

gugus fungsional seperti thiol, hydroxy, amino, phosphate, carbonyl dan hydroxyl-carboxyl yang ada pada dinding sel. Proses penangkapan pasif ini terjadi secara bolak-balik dan cepat dipermukaan sel pada bakteri yang hidup atau mati (Ratnawati et al., 2010). Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses ini, yaitu waktu, pH, suhu, konsentrasi biomassa dan pengadukan (Adi & Nana, 2010).

Tahapan selanjutnya yaitu penangkapan aktif yang terjadi pada bakteri yang masih hidup. Mekanisme ini secara bersamaan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme atau akumulasi didalam sel (Ratnawati et al., 2010). Logam berat akan ditransportasikan menuju sitoplasma melalui membran sel. Logam berat akan diendapkan pada proses metabolisme bakteri. Penyerapan logam berat diawali dengan pengikatan ion logam berat pada sulfur (S) dari asam amino pada dinding sel. Selanjutnya protein reseptor akan mengenali adanya logam asing, dan gen akan mengkode pembentukan protein metallothioenin (MT). Protein MT adalah protein yang dapat mengikat logam dengan kandungan 30% asam amino. Selanjutnya ion logam berat akan berikatan dengan metallothioenin didalam sel dengan mekanisme transport pasif. Logam berat akan berikatan dengan 2 atom S pada protein metallothioenin selanjutnya akan membentuk jepit dan logam berat akan terdetoksifikasi dalam strukturnya. MT yang berikatan dengan logam berat kemudian akan dipindahkan ke vakuola yang berfungsi sebagai tempat menyimpan ion-ion dan metabolit (Firmani & Safitri, 2023). Protein metallothioenin akan terus dibentuk selama masih ada logam berat yang terdeteksi sampai akan mengalami kejenuhan dan akhirnya mati.

## **2.8 Potensi Bakteri *Indigenus* dalam Bioremediasi**

Bakteri indigenus adalah bakteri alami yang tumbuh di alam bebas di daerah yang terkontaminasi. Bakteri indigenus memiliki kemampuan dalam menurunkan kadar senyawa kontaminan dari lingkungannya. Bakteri yang diisolasi dari tanah yang tercemar logam berat timbal (Pb) mampu menurunkan logam berat timbal sampai 60.784% (Rahadi et al., 2019). Pada tanah atau limbah yang tercemar oleh senyawa logam terdapat bakteri yang resisten dan memiliki

potensi dalam menurunkan kadar senyawa tersebut. Bakteri gram negatif maupun positif memiliki potensi yang sama dalam menurunkan kadar timbal (Pb). Dalam penelitian sebelumnya bakteri yang diisolasi dari perairan Teluk Lamong Surabaya, terdapat dua isolat dengan gram berbeda namun sama-sama resisten terhadap timbal dengan konsentrasi 10 ppm (Agustina & Lisdiana, 2023). Bakteri indigenous yang berhasil diidentifikasi dan memiliki potensi dalam menurunkan kadar timbal adalah *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus badius*, *Alcaligenes faecalis*, *Acinetobacter calcoaceticus* dan *Bacillus alcalophilus* (Jamilah & Amri, 2019).



UNIVERSITAS ISLAM NEGERI  
SUMATERA UTARA MEDAN