

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pesatnya kegiatan industri pertambangan saat ini menjadi salah satu sektor dengan sumbangsi pendapatan terbesar bagi negara. (Nugraha et al., 2023). Namun, dibalik dampak positif tersebut, aktivitas industri pertambangan mengakibatkan akumulasi limbah dalam jumlah yang besar, terutama limbah logam berat seperti kadmium (Cd), merkuri (Hg), timbal (Pb), kromium (Cr), nikel (Ni) dan tembaga (Cu) (Ibrahim et al., 2019). Semakin banyak pabrik yang berdiri maka akan semakin potensial juga terjadinya pencemaran lingkungan baik terhadap air, udara, maupun tanah yang akan berpengaruh buruk pada lingkungan serta kondisi kesehatan masyarakat (Usman, et, al., 2023).

Kabupaten Morowali telah ditetapkan sebagai salah satu kawasan industri pertambangan yang diarahkan pada sektor manufaktur berbasis sumber daya alam karena memiliki sumber nikel cukup besar di Indonesia sehingga memiliki prospek menjadi pusat pertumbuhan industri berbasis nikel. Hadirnya kawasan industri ini memberikan pengaruh terhadap berbagai aspek yaitu aspek ekonomi, sosial, lingkungan maupun kesehatan. Namun, disisi lain adanya industri pertambangan ini turut memberikan dampak negatif terutama bagi lingkungan selama beberapa tahun terakhir. Berdasarkan data Potensi Desa (Podes) Kabupaten Morowali Tahun 2024 telah terjadi pencemaran air di 19 desa/kelurahan, pencemaran tanah di 2 desa/kelurahan dan pencemaran udara di 20 desa/kelurahan. yang bersumber dari pabrik industri pertambangan (Usman, et, al., 2023). Kegiatan pertambangan yang mengeksploitasi serta membuka bentang alam memiliki dampak negatif bagi lingkungan yaitu terbentuknya air asam tambang (AAT). Air Asam Tambang (AAT) menjadi salah satu dampak yang penting dari kegiatan pertambangan karena dampaknya yang melebihi umur oprasional sehingga harus dikelola dengan tepat. Air Asam Tambang (AAT) mengandung logam-logam berat terlarut yang berbahaya bagi ekosistem (Parella et al., 2022)

Logam berat adalah bahan beracun yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Sumber pencemaran logam berat sebagian besar berasal dari pertambangan, peleburan logam, industri lainnya dan juga dapat berasal dari limbah domestik yang menggunakan logam. Kontaminasi bahan pencemar logam berat telah menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air dan sedimen yang signifikan pada lingkungan area pertambangan. Logam berat hasil kegiatan pertambangan tergolong bahan pencemar perairan maupun terestrial yang bersifat toksik dan harus diwaspadai keberadaannya agar tidak mencapai titik yang tidak dapat ditoleransi oleh lingkungan dan makhluk hidup. Salah satu logam berat yang dihasilkan dari pertambangan yaitu kadmium (Cd) (Rahayu dan Mangkoedihardjo 2022).

Kadmium (Cd) adalah logam berat yang berbahaya karena bersifat *non-degradable* dalam tubuh organisme hidup dan memiliki efek toksik bagi tubuh walau dalam kadar yang sangat rendah. Kadmium (Cd) memiliki efek jangka panjang pada tubuh manusia dan dapat terakumulasi di dalam tubuh manusia terutama di dalam

organ vital seperti hati dan ginjal (Girikallo et al., 2022). Efek toksik kadmium (Cd) dipengaruhi oleh lama paparan dan kadar selama paparan, sehingga jika terpapar dengan kadar yang tinggi dalam waktu lama akan meningkatkan efek toksik yang lebih besar. Akibat mudahnya terakumulasi baik dalam sedimen maupun organisme, Cd dapat mengakibatkan gangguan sistem biologis (Pulungan dan Wahyuni, 2021). Kadmium (Cd) merupakan salah satu limbah tailing dari proses pengolahan bijih nikel yang memiliki sifat toksik yang tinggi (Girikallo et al., 2022).

Dampak logam berat akibat AAT dapat diminimalisir dengan menggunakan metode bioremediasi. Bioremediasi merupakan penggunaan mikroorganisme yang telah dipilih untuk ditumbuhkan pada polutan tertentu sebagai upaya untuk menurunkan kadar polutan tersebut. Dalam proses bioremediasi terdapat variasi yang digunakan, namun prinsipnya sama yaitu menggunakan mikroorganisme atau enzim dari mikroorganisme (Rahmi, 2023). Bioremediasi diterapkan dengan mengandalkan kemampuan resistensi dari bakteri, didukung dengan penambahan nutrient untuk memicu pertumbuhan bakteri pada tanah yang terkontaminasi logam berat (Fahrudin et al., 2020).

Bakteri yang toleran terhadap logam berat dengan mekanisme selain reduksi logam berat disebut sebagai mikroba pengakumulasi logam berat (MPLB). Bakteri ini dapat dimanfaatkan untuk mengatasi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh logam berat (Kurnia, 2023). Beberapa jenis bakteri telah dimanfaatkan sebagai agen pereduksi logam berat yaitu marga *Pseudomonas*, *Leptotrix*, *Klebsiella*, *Citrobacter* dan *Bacillus*. Dari marga tersebut hanya marga *Pseudomonas* dan *Bacillus* yang paling resisten terhadap logam berat. Beberapa jenis dari marga *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas stutzeri* dan *Pseudomonas fulva* telah dimanfaatkan dalam proses reduksi logam berat kadmium (Cd), merkuri (Hg) dan timbal (Cu) (Badjoeri, 2017).

Bakteri pengakumulasi kadmium (Cd) dapat diperoleh dari lingkungan tercemar, termasuk pada lahan pertambangan karena yang diisolasi dari lahan tercemar tersebut memiliki tingkat resistensi yang tinggi terhadap zat pencemar logam berat dan berpotensi dimanfaatkan untuk tujuan bioremediasi. Morowali sebagai salah satu daerah penghasil nikel terbesar di Indonesia, memiliki lingkungan tanah yang terkontaminasi oleh logam berat, termasuk Kadmium (Cd) akibat dari penambangan dan pengolahan bijih nikel. Kondisi ini menciptakan habitat ideal bagi mikroorganisme yang mampu beradaptasi dan berkembang dilingkungan dengan konsentrasi logam berat yang tinggi (Fahrudin et al., 2020).

## 1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui jumlah bakteri pada sampel tanah tambang Morowali
2. Mengetahui perubahan pH setelah penerapan inokulum bakteri sampel tanah tambang Morowali pada Air Asam Tambang (AAT)
3. Mengetahui pengaruh penambahan inokulum bakteri terhadap konsentrasi logam berat kadmium (Cd)

### 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmu mengenai keberadaan dan kemampuan bakteri sebagai agen pereduksi logam berat pada sampel tanah tambangan Morowali.

### 1.4 Teori

#### 1.4.1 Pencemaran Lingkungan Akibat Pertambangan

Penambangan adalah proses penggalian mineral bijih bersama dengan jumlah minimum batuan buangan dari kerak bumi untuk kepentingan umat manusia. Menurut undang-undang Nomor 4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, Pertambangan adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan, dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pasca tambang (Susanto dan Setyowati, 2021).

Lingkungan merupakan ruang yang dipergunakan oleh makhluk hidup untuk berinteraksi demi keberlangsungan hidupnya. Lingkungan juga dicirikan dengan kesatuan dari komponen-komponen pembentuk suatu proses kehidupan seperti makhluk hidup, keadaan, kekuatan yang saling mempengaruhi. Masalah pencemaran lingkungan menjadi hal yang sangat urgent untuk dibahas dan dicarikan solusinya oleh semua kalangan, dikarenakan kerusakan lingkungan yang terjadi sangat mempengaruhi tatanan kehidupan pada saat ini. Kerusakan lingkungan yang terjadi dapat disebabkan oleh banyak hal diantaranya adalah karena perbuatan manusia sendiri. Keinginan manusia yang tidak terbatas akan mendorong untuk terus melakukan eksploitasi terhadap lingkungan. Selain itu pola hidup yang kurang memperhatikan kebersihan juga menjadi faktor pemicu (Siregar dan Nasution, 2020).

Menurut undang-undang No 4 tahun 1982 tentang pokok pengelolaan lingkungan yang dimaksud dengan pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya zat, komponen lain ke dalam lingkungan sehingga berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau proses alam sehingga kualitas alam menurun dan tidak berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Sedangkan Pencemaran lingkungan menurut Undang-Undang No 32 tahun 2009 tentang. Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah masuknya atau dimasukkannya energi ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu. Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan dan makhluk hidup, termasuk didalamnya manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya (Siregar dan Nasution, 2020).

Secara umum, pencemaran lingkungan sendiri dibagi menjadi tiga yakni pencemaran air, pencemaran udara dan pencemaran tanah. Permasalahan pencemaran lingkungan yang harus segera ditangani diantaranya pencemaran air tanah dan sungai, pencemaran udara perkotaan, kontaminasi tanah oleh sampah, hujan asam, perubahan iklim global, penipisan lapisan ozon, kontaminasi zat

radioaktif, dan limbah pertambangan. Untuk menyelesaikan masalah pencemaran lingkungan ini, tentunya kita harus mengetahui sumber pencemar, bagaimana proses pencemaran itu terjadi, dan bagaimana langkah penyelesaian pencemaran lingkungan itu sendiri (Sompotan dan Sinaga, 2022).

Berbagai jenis kasus pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh aktivitas industri masih banyak terjadi di Indonesia, salah satunya industri pertambangan. Seiring dengan itu, masalah lingkungan yang dihasilkan oleh limbah yang berasal dari kegiatan pertambangan, energi, dan mineral juga berdampak pada kualitas air sungai di Indonesia, yang umumnya dalam kondisi sangat tercemar. Pada tahun 2018 sebanyak 25,1% desa mengalami polusi air dan tanah mereka terkontaminasi sekitar 2,7% dari komunitas. Kemunculan pembuangan limbah hasil pertambangan selain berdampak pada lingkungan juga berdampak pada kesehatan, oleh karena itu tindakan serius perlu diambil sesuai dengan target tujuan pembangunan berkelanjutan (Sulaiman, 2023).

Aktivitas pertambangan selalu membawa dua sisi. Sisi pertama adalah memacu kemakmuran ekonomi negara. Sisi yang lainnya adalah timbulnya dampak lingkungan yang memerlukan tenaga, pikiran, dan biaya yang cukup signifikan untuk proses pemulihannya (Marganingrum dan Noviardi, 2009). Kegiatan pertambangan berdampak pada lingkungan karena batuan yang digali mengandung logam sulfid. Ketika terekspos udara, logam ini menghasilkan sulfat ( $\text{SO}_4$ ), dan jika terkena air hujan akan membentuk asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Senyawa sulfat tersebut mencemari badan sungai, mengganggu biota air akibat sifat asam dengan pH 2-3. Di lain pihak asam sulfat tersebut akan menyebabkan logam-logam berat yang terdapat pada bijih tambang menjadi larut dan juga terbawa air. Jika logam berat ini masuk ke perairan akan menjadi racun bagi berbagai organisme, karena sifat toksisitas pada logam itu. Akibat dari proses ini menyebabkan limbah pertambangan menghasilkan dua jenis sumber pencemaran yaitu kandungan sulfat dan kandungan logam-logam berat yang berbahaya, limbah ini disebut air asam tambang (Asmarita et al., 2022).

Pertambangan nikel di Indonesia merupakan salah satu sektor industri yang menopang perekonomian, namun juga memberikan dampak serius terhadap lingkungan. Aktivitas pertambangan ini berkontribusi besar pada pencemaran tanah air dan udara. Yang disebabkan oleh limbah dan tailing beracun serta degradasi ekosistem di sekitar wilayah penambangan (Sulaiman, 2023). Dampak utama yang muncul adalah potensi pencemaran limbah yang dapat merusak ekosistem dan kualitas lingkungan secara menyeluruh. Bentuk dampak yang patut diperhatikan adalah pencemaran air. Peningkatan aktivitas pertambangan dapat menyebabkan turunnya kualitas air akibat kandungan air limbah tambang yang mengandung logam berat terlarut dengan sifat asam yang tinggi (Suryani et al., 2022). Air asam tambang dapat mencemari air permukaan dan air tanah yang akan mengganggu kehidupan flora dan fauna dan kesehatan masyarakat sekitar (Azwardi dan Triyono, 2019). Pencemaran tanah juga merupakan konsekuensi atau dampak serius dari aktivitas pertambangan. Pencemaran logam berat di tanah akibat dari kegiatan pertambangan ke lingkungan dalam bentuk tailing (limbah padat) dan air hasil cucian lumpur (Nurfitriani et al., 2018). Akibatnya kesuburan tanah terganggu, pertumbuhan

tanaman terhambat, dan potensi kontaminasi bahan berbahaya dapat mengancam keamanan pangan dan Kesehatan manusia. Di samping itu, pencemaran udara juga muncul sebagai tantangan utama. Partikel debu halus yang dihasilkan dari aktivitas pertambangan mengandung zat berbahaya seperti logam berat dan senyawa kimia beracun (Saimu et al., 2015). Partikel ini dapat terbawa angin dan mencemarin udara di sekitar tambang, berdampak buruk pada kualitas udara dan Kesehatan manusia terutama bagi masyarakat yang tinggal di sekitarnya (Reno, 2016).

Pertambangan yang dilakukan dengan sistem tambang terbuka (*open pit*) dapat menimbulkan dampak salah satunya Air Asam Tambang (AAT). AAT merupakan air dengan pH yang rendah dan kelarutan logam yang cenderung meningkat karena reaksi mineral sulfida, oksigen dan air (Ozcar, 2020). AAT dapat menyebabkan masalah pada lingkungan sekitarnya, seperti meningkatnya logam ke badan air penerima, keracunan pada biota air jika terpapar langsung di badan air penerima. Melihat dampak yang ditimbulkan oleh AAT, maka sangat penting untuk dilakukan pengelolaan air asam tambang, sehingga dapat sesuai dengan baku mutu air yang telah ditetapkan oleh pemerintah (Rahmatullah dan Widayati, 2023).

#### 1.4.2 Air Asam Tambang

Air asam tambang adalah air yang terbentuk akibat dari kegiatan penambangan dengan pH rendah ( $\text{pH} < 6$ ) sebagai dampak dibukanya suatu potensi keasaman batuan, sehingga menimbulkan permasalahan terhadap kualitas air dan tanah, dimana pembentukannya dipengaruhi oleh tiga faktor utama yaitu air, oksigen, dan batuan yang mengandung mineral-mineral sulfida (Sari et al., 2020). Timbulnya air asam tambang (*Acid Mine Drainage*) berasal dari adanya reaksi antara mineral-mineral sulfida dengan air dan udara. Kegiatan pengupasan *overburden* merupakan penyebab terpaparnya mineral sulfida, sehingga mineral sulfida tersebut terekspos dan bereaksi dengan oksigen dan air, akhirnya terbentuklah air asam tambang (Rahmatullah dan Widayati, 2023).

*Acid Mine Drainage* terbentuk dipengaruhi oleh lingkungan di sekitarnya dan menyebabkan karakter dari AAT akan berbeda untuk setiap daerah dan negara karena berhubungan dengan proses reaksi dengan pemicunya yaitu iklim, cuaca dan air. Untuk daerah yang lokasi curah hujannya tinggi dan mempunyai perairan yang luas di daerah sekitar tambang maka bisa dipastikan faktor pembentuk AAT nya akan lebih tinggi. Terdapat keadaan-keadaan tertentu yang dapat memicu terbentuknya AAT sebagai berikut: (1) Batuan/tanah penutup/tailing yang mengandung senyawa sulfida dalam jumlah yang cukup untuk dapat bereaksi baik secara kimia ataupun biologi akan membentuk air lindian (*leachate*) asam dengan kecepatan reaksi pembentukan senyawa asam berlipat lebih cepat dan terakselerasi dengan bereaksi dengan air lainnya jika dilihat dari sisi penetralannya oleh senyawa basa yang juga terdapat pada batuan tersebut. (2) Sifat-sifat fisik batuan/tailing yang sedemikian rupa sehingga memungkinkan air dan oksigen masuk kedalam batuan/tailing yang membantu berlangsungnya reaksi pembentukan air asam baik secara kimia ataupun biologi. (3) Kondisi lingkungan dengan kelembaban tinggi, porositas atau permeabilitas sedang tinggi akan memudahkan infiltrasi air hujan masuk ke dalam

batuan/tailing yang tertimbun di atas permukaan tanah, sehingga air asam yang terbentuk akan mencemari daerah perairan sekitar terbentuknya AAT (Air Asam Tambang) (Herniawati, 2020).

Proses oksidasi ini akan lebih cepat jika dibantu oleh bakteri yang ada di dalam air asam tambang tersebut. Umumnya Air asam tambang ini ditemukan pada penambangan terbuka karena kontak dengan udara lebih banyak dan juga akan berpotensi tinggi di daerah yang air hujannya cukup tinggi (Herniawati, 2020). Penanganan dampak pencemaran yang ditimbulkan oleh air asam tambang (AAT) dapat dilakukan melalui pendekatan fisik, kimia, dan biologi, masing-masing mengusung metode khusus untuk mereduksi dan mencegah potensi kerusakan lingkungan yang dapat dihasilkan oleh AAT. Penanggulangan secara fisik mencakup proses pengolahan yang melibatkan tindakan fisik dan pemanfaatan alat-alat tertentu. Salah satu metode yang diterapkan adalah pengkapsulan, di mana batu lanau (PAF) dan batu lempung (NAF) ditempatkan secara strategis untuk menghindari terbentuknya AAT dan oksidasi mineral sulfida. Pada tahap fisik ini, air asam tambang diolah di Kolam Pengendap Lumpur (KPL) yang dirancang dengan kompartemen dan pintu air zig-zag, bertujuan memperlambat aliran air. Desain ini memungkinkan partikel padatan pada air mengendap sebelum mencapai pintu air, memperpanjang waktu tinggal air di kolam (Sinaga dan Putra, 2021).

Penanggulangan secara kimia melibatkan penggunaan bahan kimia untuk mengatasi limbah pencemar. Dalam konteks KPL, penamburan kapur dan tawas menjadi tindakan umum untuk menurunkan Total Suspended Solid (TSS) dan meningkatkan pH air. Metode kimia diterapkan untuk menghilangkan partikel koloid, logam berat, campuran fosfor, dan zat alami beracun dengan menggunakan senyawa kimia sintetis tertentu. Pengelolaan AAT pada tingkat dasar melibatkan netralisasi dengan kapur dan pengendapan logam sebagai hidroksida. Jenis bahan kimia yang umumnya digunakan melibatkan kapur hidrat  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , quicklime ( $\text{CaO}$ ), serta bakterisida, detergen, dan fenol. Namun, diakui bahwa metode kimia cenderung tidak efisien, tidak ramah lingkungan, dan memerlukan biaya yang signifikan (Herniawati, 2020).

Namun selama ini penanggulangan AAT dengan secara kimiawi dan fisik tidak efisien karena dapat menimbulkan zat pencemar yang baru. Oleh karena itu secara biologis penanggulangan AAT dapat menggunakan teknik bioremediasi dengan memanfaatkan bakteri pereduksi sulfat (BPS) yang terdapat melimpah secara alami dalam sedimen. Pendekatan biologi mengusung konsep pengurangan limbah pencemar dengan memanfaatkan makhluk hidup (Arnol, 2018)

Agen biologis yang memegang peran kunci dalam menangani AAT adalah bakteri pereduksi sulfat (BPS). Bakteri ini berfungsi mereduksi sulfat menjadi sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), sehingga efektif untuk menurunkan konsentrasi sulfat dan logam-logam terlarut dalam Air Asam Tambang (AAT). Walaupun metode biologi dianggap lebih efisien dan ramah lingkungan, namun masih umum ditemui penggunaan senyawa kimia. Agen biologis yang sangat berperan dalam penanganan AAT adalah bakteri pereduksi sulfat (BPS). Bakteri pereduksi sulfat berperan dalam mereduksi sulfat

menjadi sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) sehingga dapat menurunkan konsentrasi sulfat dan logam-logam terlarut dalam AAT (Sinaga & Putra, 2021).

#### 1.4.3 Logam Berat Kadmium (Cd)

Kadmium adalah logam berwarna putih perak, lunak, mengkilap, tidak larut dalam basa mudah bereaksi, menghasilkan kadmium oksida bila dipanaskan. kadmium (Cd) umumnya terdapat dalam kombinasi dengan klor (Cd Klorida) atau belerang (Cd Sulfid). Kadmium membentuk  $\text{Cd}^{2+}$  yang bersifat tidak stabil. Cd memiliki nomor atom 40, berat atom 112,4, titik leleh  $321^\circ\text{C}$ , titik didih  $767^\circ\text{C}$  dan memiliki masa jenis  $8,65 \text{ g/cm}^3$ . Logam kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium, tahan panas, tahan terhadap korosi. kadmium (Cd) digunakan untuk elektrolisis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel dan plastik. Logam kadmium (Cd) biasanya selalu dalam bentuk campuran dengan logam lain terutama dalam pertambangan timah hitam dan seng. Kadmium (Cd) adalah metal berbentuk kristal putih keperakan. Cd didapat bersama-sama Zn, Cu, Pb, dalam jumlah yang kecil. Kadmium (Cd) didapat pada industri alloy, pemurnian Zn, pestisida, dan lain-lain (Istarani & Pandebesie, 2014).

Logam kadmium (Cd) mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Berdasarkan sifat-sifat fisiknya, kadmium (Cd) merupakan logam yang lunak dapat dibentuk, berwarna putih seperti putih perak. Logam ini akan kehilangan kilapnya bila berada dalam udara yang basah atau lembab serta cepat akan mengalami kerusakan bila dikenai uap amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dan sulfur hidroksida ( $\text{SO}_2$ ) (Palar, 2004). Pada kegiatan pertambangan biasanya kadmium ditemukan dalam bijih mineral diantaranya adalah *sulfida green ockite (xanthochroite)*, karbonat otative, dan oksida kadmium. Mineral-mineral ini terbentuk berasosiasi dengan bijih sfalerit dan oksidanya, atau diperoleh dari debu sisa pengolahan lumpur elektrolit (Istarani & Pandebesie, 2014).

Kadmium memiliki beragam aplikasi, seperti dalam pembuatan baterai, pigmen, plastik, dan pelapisan logam, serta sering dimanfaatkan dalam proses elektroplating. Berdasarkan klasifikasi Badan Internasional untuk Penelitian Kanker, kadmium beserta senyawanya tergolong sebagai zat karsinogen bagi manusia. Cd dilepaskan ke lingkungan melalui proses alam seperti letusan gunung berapi, pelapukan dan aktivitas manusia seperti pertambangan, peleburan, merokok tembakau, pembakaran limbah dan pembuatan pupuk (Maslan, 2022).

#### 1.4.4 Bakteri Pereduksi Logam Berat

Logam berat dapat dikategorikan sebagai esensial dan non esensial, beberapa logam yang dibutuhkan oleh kehidupan organisme (Ca, Co, Cr, Fe, Cu, Mg, Mn) dan logam lainnya (Hg, Al, Cd, Pb, Au) tidak memiliki peran biologi, tetapi dapat berpotensi beracun jika konsentrasi terlalu tinggi. Ditinjau dari toksisitasnya logam berat dilogangkan menjadi tiga golongan, (1) Hg, Cd, Pb, As, Cu dan Zn yang memiliki sifat toksik yang tinggi, (2) Cr, Ni, dan Co yang memiliki sifat toksik menengah, dan (3) Mn dan Fe yang memiliki sifat toksik rendah. (Hryniewicz dan Baum, 2014).

Mikroorganisme memiliki kemampuan afinitas tinggi terhadap logam, yang memungkinkan penyerapan dan reduksi logam berat serta logam beracun dari lingkungan. Proses reduksi ini berlangsung melalui berbagai mekanisme biologis. Mikroorganisme berperan penting dalam mengendalikan kadar logam berat di lingkungan sehingga bermanfaat dalam upaya bioremediasi di area tercemar. Mikroba yang memiliki sifat toleran terhadap logam berat dengan mekanisme selain *efflux* (reduksi logam berat) disebut sebagai mikroba pegakumulasi logam berat. Bakteri ini dapat dimanfaatkan untuk mengatasi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh logam berat. Bakteri, kapang, ganggang dan ragi dapat mengakumulasi logam berat Ag, Au, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, U dan Zn. *Pseudomonas*, *Thiobacillus*, *Bacillus*, dan bakteri penambat N<sub>2</sub> dilaporkan mampu mengakumulasi logam berat. (Angraeni, 2017).

Bakteri pereduksi logam berat dapat digunakan sebagai agen bioremediasi untuk perlindungan tanah dan air terhadap pencemaran logam berat (Badjoeri, 2017). Bakteri memiliki berbagai mekanisme untuk mereduksi dan mengatasi toksisitas logam berat diantaranya, transportasi melintas membran sel, akumulasi pada dinding sel, pembentukan kompleks dan adaptasi serta resistensi genetik. Mekanisme ini memungkinkan bakteri untuk bertahan dalam lingkungan yang terkontaminasi logam berat dan menjadikan kandidat potensial untuk aplikasi bioremediasi. (Nanda et al., 2019).

Kemampuan bakteri dalam mereduksi logam berat tersebut berhubungan dengan gen yang terdapat di kromosom, plasmid dan transposom yang mengatur proses mekanisme tersebut. Permukaan sel bakteri bermuatan negatif karena tersusun atas berbagai struktur anion, sedangkan logam berat merupakan ion bermuatan positif. Hal ini memungkinkan terjadinya ikatan antara permukaan sel bakteri dengan ion logam berat. Bakteri juga mampu mengakumulasi logam berat di dalam sel melalui pembentukan ikatan antara logam berat dan suatu protein di dalam sel yang dikenal sebagai metalotionein. (Hasyimsuddin et al., 2018). Mekanisme bakteri dalam mereduksi logam berat melibatkan serangkaian proses kompleks dengan menggunakan komponen dinding sel dari bakteri, seperti peptidoglikan dan komponen fungsional (karboksil, sulfhidril, hidroksil, sulfat, fosfat, dan amino) untuk mengikat ion logam berat, atau disebut dengan proses biosorpsi. Sedangkan adsorpsi melibatkan penempelan ion logam pada permukaan sel bakteri melalui interaksi fisik dan kimia (Aryal, 2020; Alotabi et al., 2021).

## BAB II

### METODE PENELITIAN

#### 2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Januari – Februari 2025. Pengambilan sampel tanah dilakukan di Kab. Morowali. Uji karakterisasi tanah tambang dilakukan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Unhas. Pengujian pH dan perhitungan total mikroba dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi FMIPA Unhas. Pengujian kadar logam berat dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar.

#### 2.2 Alat dan Bahan Penelitian

##### 2.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah cawan petri, tabung reaksi, gelas ukur, gelas kimia, erlenmeyer, sendok, sendok tanduk, rak tabung, botol sampel, wadah perlakuan berupa wadah plastik bening, pipet bulb, spuit, bunsen, alat pengukur pH (pH meter), inkubator, *hot plate*, timbangan digital, autoklaf, oven dan AAS.

##### 2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel tanah tambang Morowali, pupuk kompos, senyawa asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), Kadmium sulfat hidrat  $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , akuades, Media PCA, bahan-bahan tambahan lain seperti *cling wrap*, *aluminium foil*, kapas dan kasa.

#### 2.3 Prosedur Penelitian

##### 2.3.1 Tahap pengambilan sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini yakni sampel tanah yang telah disediakan sebelumnya. Pengambilan sampel dilakukan dengan standar prosedur pengumpulan di lokasi tambang Morowali, kemudian disimpan dalam kondisi yang sesuai untuk menjaga sifat fisik dari sampel.

##### 2.3.2 Sterilisasi alat dan bahan

Alat-alat gelas disterilkan dengan menggunakan oven pada suhu  $180^\circ\text{C}$  selama 2 jam sedangkan untuk peralatan yang tidak tahan panas dan media pertumbuhan selanjutnya disterilkan dengan menggunakan autoklaf pada suhu  $121^\circ\text{C}$  dengan tekanan 2 atm selama 15 menit. Alat-alat plastik yang tidak tahan panas dibilas dengan menggunakan akuades.

##### 2.3.3 Karakterisasi tanah tambang

**Pengujian Kandungan Carbon (C).** Ditimbang 0,500 gr sampel tanah ukuran  $<0,5$  mm, dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml. tambahkan 5 ml  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  1 N, lalu dikocok. Ditambahkan 7,5 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat, dikocok lalu didiamkan selama

30 menit. Diencerkan dengan air bebas ion, dibiarkan dingin dan diimpitkan. Keesokan harinya diukur absorbansi larutan jernih dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 561 nm. Sebagai pembanding dibuat standar 0 dan 250 ppm, dengan dipipet 0 dan 5 ml larutan standar 5.000 ppm ke dalam labu ukur 100 ml dengan perlakuan yang sama dengan pengerjaan sampel.

**Pengujian Kandungan Nitrogen (N).** Pengukuran Nitrogen dengan cara destilasi dengan cara dipindahkan secara kualitatif seluruh ekstrak sampel tanah ke dalam labu didih (digunakan air bebas ion dan labu semprot). Ditambahkan sedikit serbuk batu didih dan aquades hingga setengah volume labu. Disiapkan penampung untuk  $\text{NH}_3$  yang dibebaskan yaitu erlenmeyer yang berisi 10 ml asam borat 1% yang ditambahkan 3 tetes indikator *Conway* (Berwarna merah) dan dihubungkan dengan alat destilasi. Dengan gelas ukur ditambahkan NaOH 40% sebanyak 10 ml ke dalam labu didih yang berisi contoh dan secepatnya ditutup. Didestilasi hingga volume penampung mencapai 50-75% (berwarna hijau). Destilat dititrasi dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,050 N hingga warna merah muda.

**Pengujian Kandungan Posfor (P).** Penetapan kandungan P dengan metode olsen. Ditimbang 1.000 g sampel tanah <2 mm, dimasukkan ke dalam botol kocok, ditambahkan 20 ml pengeksrak olsen, kemudian dikocok selama 30 menit. Disaring dan bila larutan keruh dikembalikan lagi ke atas saringan semula. Ekstrak dipipet 2 ml ke dalam tabung reaksi dan selanjutnya bersama deret standar ditambahkan 10 ml pereaksi berwarna fosfat, dikocok hingga homogen dan dibiarkan 30 menit. Absorbansi larutan diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm.

**Pengujian Kandungan Kalium (K).** Sampel tanah dikeringkan, diayak hingga berukuran <2 mm, lalu ditimbang 2 gram dan dimasukkan ke dalam botol. Setelah itu, ditambahkan 10 ml HCl 25%, dikocok dengan mesin selama 5 jam, lalu dipindahkan ke tabung reaksi dan didiamkan semalaman atau disentrifugasi. Ekstrak jernihnya dipipet 0,5 ml, diencerkan dengan 9,5 ml air bebas ion (pengenceran 20x), dan dikocok. Sebanyak 2 ml dari ekstrak encer dan deret standar dimasukkan ke tabung reaksi, ditambahkan 10 ml pereaksi pewarna P, dikocok, lalu didiamkan 30 menit sebelum absorbansi diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 889 nm. Untuk kalium, ekstrak encer dan deret standar K diukur langsung dengan SSA secara emisi.

### 2.3.4 Pembuatan Air Asam Tambang (AAT)

Air asam tambang dibuat secara sintetik dengan cara ditambahkan senyawa asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) hingga mencapai pH 2-4, kemudian ditambahkan dengan kadmium sulfat hidrat  $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  70 ppm, lalu dimasukkan ke dalam wadah berisi aquades sebanyak 2 L.

### 2.3.5 Pembuatan perlakuan

Dibuat empat perlakuan sebagai berikut :

P1 = AAT 500 mL + Kompos 15% (75 gr) + tanah tambang Morowali 20% (100 gr)

P2 = AAT 500 mL + tanah tambang Morowali 20% (100 gr)

P3 = AAT 500 mL + kompos 15% (75 gr)

P4 = AAT 500 mL sebagai kontrol

Disiapkan wadah perlakuan berupa wadah bening. Perlakuan dengan tanah tambang Morowali ditimbang sebanyak 100 gr kemudian dimasukkan ke wadah PI dan PII. Selanjutnya, ditambahkan 75 gr kompos ke dalam wadah PI dan PIII. Kemudian, dimasukkan air asam tambang sebanyak 500 mL ke dalam masing-masing wadah perlakuan secara perlahan. Pengamatan pH dan total mikroorganisme dilakukan pada hari ke-0, ke-5, ke-10, ke-15 dan ke-20 sedangkan pengamatan kandungan logam berat dilakukan pada hari ke-0 dan ke-20.

Parameter yang diamati selama masa inkubasi adalah sebagai berikut:

- Total mikroorganisme dengan menggunakan metode *Standar Plate Count* (SPC)
- Pengukuran pH
- Pengukuran kadar logam berat dengan metode AAS

### 2.3.6 Perhitungan Total Mikroba dengan Metode Standar Plate Count (SPC)

**Pembuatan Media *Plate Count Agar* (PCA).** Pembuatan medium PCA dimulai dengan ditimbang sebanyak 3,5 gram medium PCA dan dilarutkan ke dalam 150 ml aquades, kemudian dipanaskan menggunakan *hot plate* hingga homogen. Terakhir, medium disterilisasi menggunakan autoklaf selama 15 menit dengan suhu 121°C dan tekanan 2 atm.

**Perhitungan Jumlah Koloni dengan Metode *Standard Plate Count* (SPC).** Dimasukkan sampel ke tabung reaksi yang berisi 9 ml akuades untuk pengenceran pertama, kemudian diencerkan sampai tingkat pengenceran tertentu, untuk  $T_0 - T_{20}$  dilakukan tingkat pengenceran berbeda. Setiap interval 5 hari tingkat pengenceran dinaikkan, mulai dari pengenceran terendah  $10^{-4}$  hingga pengenceran tertinggi  $10^{-14}$ . Dari 3 pengenceran terakhir diplating ke media PCA (*Plate Count Agar*) dengan menggunakan teknik tuang. Kemudian di inkubasi selama 2 x 24 jam. Setelah diinkubasi dilakukan perhitungan jumlah koloni.

### 2.3.7 Pengukuran pH

Tahap pengukuran pH yaitu dengan cara pH meter dicelupkan ke dalam masing-masing perlakuan. Kemudian dicatat hasil pengukuran pH dan dibuat diagram grafik untuk diamati perubahan pH yang terjadi.

### 2.3.8 Pengukuran Kadar Logam Berat

Tahap awal pengukuran kadar logam berat yakni dilakukan dengan melakukan destruksi basah. Sampel yang akan di uji dimasukkan kedalam tabung reaksi masing-masing sebanyak 5 ml lalu ditambahkan  $\text{HNO}_3$  pekat 10 ml. Kemudian di masukkan kedalam penangas dan didiamkan selama 3 hari hingga kadar zat organik habis. Sampel yang telah di destruksi kemudian dimasukkan ke dalam botol sampel dan dilakukan pengukuran kadar logam dengan menggunakan AAS thermo.

## **2.4 Analisis Data**

Data yang diperoleh pada penelitian ini seperti karakteristik tanah tambang, total mikroba, nilai pH, dan kadar logam berat Kadmium (Cd) akan dibahas secara deskriptif dan ditampilkan dalam bentuk tabel atau grafik.