

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum Tentang Lokasi Penelitian**

Sungai Wangi adalah salah satu sungai yang berlokasi di Dusun Keceling Kecamatan Pandaan Kabupaten Pasuruan. Aliran Sungai Wangi mengalir dari Kecamatan Prigen, Kecamatan Pandaan hingga Kecamatan Bangil Kabupaten Pasuruan, kemudian bermuara di selat Madura. Sungai Wangi berhulu di Pegunungan Arjuno-Welirang dan memiliki panjang  $\pm$  25 km. Sungai Wangi dimanfaatkan oleh penduduk sekitar untuk aktivitas sehari-hari seperti mandi, cuci dan kakus (MCK) (Adam et al., 2022). Sekitar Sungai Wangi terdapat perindustrian seperti industri tekstil yang menghasilkan limbah berwarna dalam berbagai jenis senyawa kimia dengan konsentrasi bervariasi (Haryono et al., 2018). Selain industri tekstil, industri makanan serta minuman ada disekitar Sungai Wangi yang menghasilkan limbah cair. Hal ini ditimbulkan karena industri makanan serta minuman membutuhkan jumlah air yang banyak, sehingga mengakibatkan sejumlah air limbah yang dibuang ke Sungai Wangi juga banyak. Polutan yang dikandung air limbah tersebut adalah senyawa-senyawa organik yang bersumberkan dari pencucian dan perebusan bahan baku dan pencucian peralatan produksi (Indriatmoko et al., 2018). Disamping itu, dihasilkannya limbah kosmetik dari aktivitas warga sehari-hari. Peta daerah Sungai Wangi Desa Kemirisewu Kecamatan Pandaan Kabupaten Pasuruan tersaji di Gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Peta lokasi Sungai Wangi Desa Kemirisewu**

(Sumber: google earth)

## **2.2. Tinjauan Pencemaran Air oleh Logam Berat**

Pencemaran oleh logam berat yang ada pada lingkungan yaitu salah satu proses yang hubungannya erat menggunakan penggunaan dari logam tersebut oleh manusia. Secara umumnya logam menjadi bahan baku utama pada proses produksi suatu industri (Adam et al., 2018). Kontaminasi oleh logam berat dapat mengakibatkan dampak yang merugikan, sebab umumnya akibat suatu industri mengandung zat beracun serta berbahaya antara lain logam merkuri (Hg), krom (Cr), kadmium (Cd), timbal (Pb) dan tembaga (Cu). Logam-logam yang membentuk senyawa-senyawa yang diperoleh dari kegiatan manusia dialirkan ke lingkungan dapat merusak kehidupan pada makhluk hidup yang ada pada perairan (Idrus, 2014).

Menurut ketentuan dalam PP No. 82 Tahun 2001 tentang pengendalian kualitas air dan pengendalian pencemaran air, pencemaran air dapat didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau benda lain ke dalam air sebagai hasil dari aktivitas manusia. Dampak dari pencemaran ini mencakup penurunan kualitas air hingga tingkat tertentu, serta mengakibatkan

tidak berfungsi air sesuai dengan peruntukannya. Menurut Sosrodarsono & Tominaga (2008) berkata bahwa pencemaran lingkungan adalah suatu transformasi lingkungan yang tidak memberi manfaat, Sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia yang mekibatkan perubahan dalam pola penggunaan energi dan materi, paparan radiasi, serta penggunaan bahan fisika dan kimia. Tindakan semacam ini dapat berdampak secara langsung pada kesehatan manusia atau secara tidak langsung melalui dampaknya pada air, peternakan, hasil pertanian, obyek-obyek, serta perilaku apresiasi dan rekreasi di alam bebas.

Secara umum jadi penyebab sumber pencemaran di air bisa juga dikategorikan menjadi sumber kontaminan langsung serta tidak langsung. Asal kontaminan langsung meliputi TPA (kawasan pembuangan akhir sampah), aneka macam jenis limbah serta lain sebagainya. Jenis-jenih limbah yang bisa mengakibatkan pencemaran air yaitu limbah industri, limbah dosmetik serta aktivitas lainnya seperti pertanian. Sumber kontaminan tak langsung adalah jenis kontaminan yang masuk ke dalam badan air melalui tanah, air tanah, atau atmosfer, khususnya dalam bentuk presipitasi seperti hujan. (Sahabuddin, 2012). Air tanah merupakan air yg menempati pori-pori batuan pada bawah bagian atas dari tanah di zona jenuh air. Zona jenuh merupakan bagian tanah atau batuan menggunakan semua pori-pori serta pula ruang antar partikelnya yang penuh terisi air (Nugroho et al., 2019). Tanah dan air dapat mengandung sisa-sisa dari aktivitas pertanian, seperti residu pupuk dan pestisida. Di sisi lain, atmosfer juga merupakan sumber pencemaran yang berasal dari aktivitas manusia, yang dapat mengakibatkan hujan asam sebagai dampak dari pencemaran udara (Sahabuddin, 2012).

Logam yang memasuki perairan sebagai hasil dari aktivitas manusia dapat

membentuk limbah yang pada akhirnya mengalami proses pengendapan. Endapan dan bahan terlarut berasal dari limbah industri dalam bentuk padat. Jika limbah tersebut tidak dapat larut sepenuhnya, maka akan mengendap di dasar sungai, sementara sebagian yang larut dapat menjadi koloidal. Apabila endapan dan koloid berasal dari limbah organik, mikroorganisme dengan bantuan oksigen terlarut di dalam air akan mengurai bahan organik tersebut, mengubahnya menjadi substansi yang lebih sederhana. Dengan hal tersebut penurunan kandungan oksigen terlarut di dalam air dapat mengakibatkan gangguan bagi organisme lain yang membutuhkan oksigen. Bahan buangan industri lainnya, seperti bahan buangan anorganik, jika mencapai perairan, dapat menyebabkan peningkatan jumlah ion logam dalam air. Situasi ini dapat mempersulit proses degradasi oleh mikroorganisme. Banyak bahan anorganik menghasilkan ion-ion logam berat yang umumnya bersifat toksik, seperti Cd, Cr, Pb, Hg, dan lain sebagainya (Wardhana, 2004).

Pencemaran logam berat memiliki dampak signifikan pada kelangsungan hidup ekosistem perairan. Logam tersebut dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh, menyebabkan risiko keracunan bagi manusia, hewan, dan tumbuhan jika melebihi ambang batas yang aman. Oleh karena itu, pencemaran logam berat dapat dianggap sebagai ancaman racun bagi keseimbangan dan keberlanjutan ekosistem perairan (Khairuddin et al., 2019). Meskipun demikian, dalam konsentrasi yang rendah, logam juga merupakan kebutuhan esensial bagi pertumbuhan dan perkembangan suatu organisme (D. F. Pratiwi et al., 2016). Selain dapat meracuni sumber air, pencemaran air berdampak luas seperti ketidakseimbangan dalam ekosistem sungai dan danau. Upaya yang perlu dilakukan untuk mengurangi pencemaran air salah

satunya dengan kita tidak membuang sampah seperti rumah tangga dan sampah industri atau limbah ke dalam air sungai dan kita juga perlu berhati-hati dengan bahan kimia yang akan dibuang ke sungai, karena dapat menyebabkan terjadinya pencemaran air. Jika kegiatan tersebut diimbangi dengan kesadaran masyarakat yang tinggi dalam melestarikan lingkungan sungai, maka kualitas air sungai akan relatif baik.

### **2.2.1. Polutan Logam Berat**

Logam berat ialah unsur logam yang mengandung lebih dari 5 g/cm<sup>3</sup> massa jenis. Selain itu logam berat merupakan zat pencemar yang membahayakan sebab bersifat toksik (*non degradable*) bila ada dalam jumlah besar serta cenderung terakumulasi pada air, sedimen dasar perairan, serta tubuh organisme (Supriyantini & Soenardjo, 2016). Logam berat dapat mencemari lingkungan baik pada udara, air serta tanah. Masuknya logam berat ke lingkungan dapat bersumber dari aktivitas manusia seperti limbah industri, limbah rumah tangga dan aktivitas penambangan. Selain itu kejadian alam yang berupa pelapukan batuan, partikel debu dan aktivitas vulkanik sebagai sumber utama masuknya logam berat ke perairan (Morin & Santi, 2020). Menurut Irhamni et al. (2017) logam berat dapat menjadi 2 jenis yaitu::

- 1) Logam berat esensial adalah jenis logam yang diperlukan oleh organisme dalam jumlah tertentu untuk fungsi-fungsi biologisnya. Meskipun demikian, logam-logam tersebut dapat menimbulkan efek racun ketika terdapat dalam konsentrasi yang berlebihan.. contohnya yaitu: Cu, Fe, , Mn, Zn, Co serta lain-lain.
- 2) Logam berat tidak esensial adalah logam yang keberadaannya dalam tubuh belum diketahui manfaatnya, bahkan dapat bersifat racun, misalnya yaitu: Hg,

Cd, Pb, Cr, serta lain- lain.

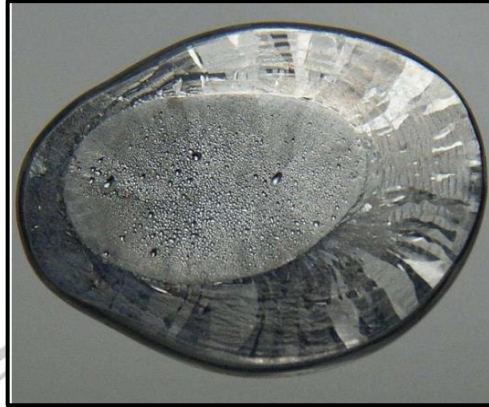
Pada dasarnya logam sangat diperlukan dalam proses produksi dari suatu industri. Logam berfungsi sebagai bahan baku utama untuk berbagai produk, mulai dari pembuatan cat, aki atau baterai, hingga produksi alat-alat listrik dan sejumlah produk lainnya (Hidayat, 2011). Bahan yang digunakan oleh industri itu dapat berbentuk logam murni, bahan anorganik maupun bahan organik. Jumlah logam yang digunakan bervariasi menurut bentuk dan jenisnya, tergantung pada jenis industrinya. Logam berat memiliki peran yang signifikan dalam dunia industri, dan beberapa logam berat yang umum digunakan meliputi Hg, Pb, Cd, Cu, dan Zn (Adam et al., 2018). ). Logam yang memiliki kontribusi toksisitas di dalam air adalah timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan aluminium (Al). Sumber logam berat tersebut sering ditemukan dalam bentuk sulfida, yang berasal dari limbah industri yang terkontaminasi, aktivitas pertambangan, dan kebocoran pada kolam penampungan limbah, baik di dalam air maupun padatan. (Khairuddin et al., 2019).

#### **2.2.1.1. Karakteristik Logam Berat Timbal (Pb)**

Timbal (Pb) termasuk dalam kelompok logam berat golongan IVA dalam Sistem Periodik unsur kimia, dengan nomor atom 82 dan massa atom 207,2. Menurut Palar dalam (Mauriza et al., 2020) menyatakan bahwa karakteristik timbal (Pb) adalah sebagai berikut:

Tampakan	: Keabu-abuan dan mengkilat.
Sifat	: Lunak dan mudah dibentuk.
Berat Jenis	: 11,34 g/cm <sup>3</sup>
Titik Lebur	: 327,5°C

Titik Didih : 1740°C



**Gambar 2.2 Logam timbal (Pb) yang dipadatkan dari keadaan cair**  
(Sumber: Boldyrev, 2018)

Timbal atau timah hitam merupakan logam berat yang terdiri dari berbagai komponen seperti oksida, halogenida, karbonat, kromat, sulfat, dan sebagainya (Kvesitadze et al., 2006). Asal logam timbal (Pb) kebanyakan dampak kegiatan manusia bisa membuat air buangan atau limbah (Budiastuti et al., 2016). Timbal seringkali juga dimanfaatkan untuk melapisi logam supaya mencegah karatan. Selain itu, timbal juga banyak berguna pada industri cat, industri, baterai dan jua industri keramik (Mauriza et al., 2020). Timbal juga sering digunakan sebagai bahan pelapis pada pipa, kabel, dan solder. Selain itu, timbal dapat ditemukan di berbagai tempat seperti dalam makanan, udara, dan air (Artati, 2018).

#### **2.2.1.2. Karakteristik Logam Berat Kadmium (Cd)**

Kadmium merupakan salah satu logam yang dalam sistem tabel periodik kimia dengan nomor atom 48 dan massa atom 112,41. Menurut Widowati dalam Istarani & Pandebesie (2014) menyatakan bahwa karakteristik kadmium (Cd) adalah sebagai berikut:

Tampakan : Putih perak dan mengkilat.

Sifat : Lunak, mudah bereaksi dan tidak larut dalam basa.  
Berat jenis : 8,65 g/cm<sup>3</sup>  
Titik lebur : 321°C  
Titik didih : 767°C



**Gambar 2.3 Logam kadmium (Cd)**

**(Sumber: Wikimedia commons, 2010)**

Keberadaan kadmium di alam berhubungan erat dengan logam Pb dan Zn. Dalam industri pertambangan Pb dan Zn dalam proses pemurninya akan selalu memperoleh hasil samping kadmium yang terbuang dalam lingkungan (Istarani & Pandebesie, 2014). Kadmium ada 2 sumber utama yaitu berasal kegiatan alamiah dan antropogenik (aktivitas manusia). Secara alamiah Cd dihasilkan berasal letusan sebuah gunung vulkanik, atau jatuhnya atmosferik, atau pelapukan bebatuan, atau juga sisa organik yang membusuk (Masriadi, 2019). Selain itu, logam Cd juga dapat diperoleh melalui aktivitas manusia, termasuk dalam industri kimia, pabrik tekstil, pabrik semen, tumpahan minyak, pertambangan, pengolahan logam, pembakaran bahan bakar, serta produksi dan penggunaan pupuk fosfat. Selain itu logam kadmium dipergunakan menjadi pewarna cat serta PVC/plastik sebagai katoda nikel serta baterai (Rumahlatu, 2012).

### **2.2.1.3. Karakteristik Logam Berat Merkuri (Hg)**



Merkuri merupakan salah satu logam yang dalam sistem tabel periodik kimia dengan nomor atom 80 dan massa atom 200,61. Menurut Delvi & Zainul (2019) bahwa karakteristik merkuri (Hg) adalah sebagai berikut:

Tampakan : Putih perak (wujud cair) dan abu-abu (wujud padat)

Sifat : Mudah menguap (volatile)

Berat Jenis : 13,55 g/cm<sup>3</sup>

Titik beku : 38,87°C

Titik didih : 356,9°C



**Gambar 2.4 Logam merkuri (Hg)**

(Sumber: Titah et al., 2022)

Merkuri merupakan salah satu logam berat yang memiliki warna keperakan dan terdiri dari beberapa komponen unsur, seperti cesium, francium, galium, dan brom (Chamid et al., 2010). Sumber logam merkuri sebagian besar berasal dari industri pembuatan obat-obatan yang digunakan oleh manusia, serta digunakan sebagai bahan dasar pembuatan insektisida pertanian, obat-obatan, cat kertas, kegiatan pertambangan, dan sisa buangan industri. (Hadi, 2013). Kandungan merkuri di pestisida dapat membentuk logam berat yg berpotensi terakumulasi di tumbuhan dan terbawa dalam air ke lingkungan. Selain itu pestisida berfungsi menjadi pembasmi hama jamur yang timbul di awal penanaman padi (Riyanti et al.,

2022). Merkuri memiliki berbagai manfaat dalam industri, termasuk digunakan dalam pembuatan bola lampu, termometer, penambal gigi, proses pemurnian emas, serta dalam industri kertas dan baterai. Keunggulan merkuri terletak pada koefisien yang konstan, yang berarti tidak mengalami perubahan volume pada suhu tinggi maupun (Chamid et al., 2010). Merkuri juga dimanfaatkan sebagai agen anti jamur, sehingga digunakan dalam herbisida dan sebagai unsur tambahan pada cat tembok untuk memberikan ketahanan terhadap pertumbuhan jamur. Ketika merkuri berinteraksi dengan klor, belerang, atau oksigen, akan membentuk garam yang kemudian digunakan dalam pembuatan krim pemutih dan krim antiseptik (Widowati, 2008).

Menurut Lensoni et al. (2020) jenis-jenis merkuri dapat dibedakan menjadi 3 bentuk yaitu:

1. Merkuri Elemental (Hg): bisa ditemui dalam amalgam gigi, alat elektrik, gelas termometer, tensimeter air raksa, batu batere serta cat. Selain itu, merkuri juga digunakan sebagai katalisator dalam produksi soda kaustik dan desinfektan, serta dalam produksi klorin dari sodium klorida.
2. Merkuri Inorganik : dalam bentuk  $Hg^{++}$  (Mercuric) dan  $Hg^{+}$  (Mercurous).
3. Merkuri Organik: terdapat dalam beberapa bentuk, antara lain:
  - a) Metil merkuri dan etil merkuri yang keduanya termasuk bentuk alkil rantai pendek dijumpai sebagai kontaminan logam di lingkungan. Misalnya memakan ikan yang tercemar zat tersebut dapat menyebabkan gangguan neurologis dan kongenital.
  - b) Merkuri dalam bentuk alkil dan aryl rantai panjang dijumpai sebagai antiseptik dan fungisida.

### **2.3. Parameter Pencemaran Air oleh Logam Berat**

Parameter pencemaran merujuk pada beberapa kuantitas bahan pencemar yang dapat diukur, digunakan untuk menggambarkan suatu kondisi pencemaran pada lingkungan yang terjadi. Menurut Dewata & Danhas (2018) parameter pencemaran bisa dibagi menjadi 3 parameter yaitu parameter kimia, parameter hayati dan parameter fisika.

#### **1. Parameter Kimia**

Parameter kimia terdiri dari BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), pH air dan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Pada keadaan perairan yang belum tercemar memiliki pH dengan interval 6,5 - 8,5. Sedangkan perairan yang tercemar akan memiliki pH yang lebih tinggi dari 8,5 atau lebih rendah dari 6,5.

#### **2. Parameter Biologi**

Parameter biologi melibatkan keberadaan atau ketiadaan mikroorganisme seperti plankton atau mikroba. Setiap parameter ini tidak dapat ditentukan secara langsung melalui pengamatan visual, melainkan memerlukan penggunaan peralatan khusus atau media laboratorium.

#### **3. Parameter Fisika**

Parameter fisika mencakup aspek-aspek seperti suhu, warna, rasa, bau, dan kekeruhan dalam air. Suhu yang optimal bagi suatu perairan adalah 28°C- 32°C. Air yang sesuai untuk mendukung kehidupan umumnya tidak memiliki warna, tidak berbau, dan tidak memiliki rasa.

### **2.4. Efek Paparan Logam Berat pada Kesehatan Manusia**

#### **2.4.1. Efek Paparan Logam Timbal (Pb)**

Secara umum sebagian besar logam berat dapat mencemari lingkungan dan berbahaya bagi organisme hidup jika konsentrasinya pada lingkungan melebihi batas tertentu. Logam berat dapat terakumulasi di dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam jangka waktu lama sebagai racun. Melalui berbagai perantara seperti air yang terkontaminasi oleh logam berat, logam tersebut dapat terdistribusi ke bagian tubuh manusia dan sebagian akan terakumulasikan (Irhamni et al., 2017). Jika keadaan ini berlangsung terus menerus dalam jangka waktu lama dapat mencapai jumlah yang membahayakan kesehatan manusia. Keracunan timbal (Pb) merupakan senyawa toksik, dimana dampak paparan timbal bisa terjadi tanpa gejala yang jelas. Timbal atau timah hitam merupakan racun syaraf (neuro toxin) yang bersifat kumulatif, destruktif dan kontinu pada sistem haemofilik, kardiovaskuler dan ginjal. Menurut Yulaipi & Aunurohim (2013), kandungan Pb dalam tubuh dengan konsentrasi yang tinggi akan menghambat aktivitas enzim, yang terjadi melalui pembentukan senyawa antara logam berat dengan gugus sulfhidril (S-H). Hal tersebut disebabkan karena gugus S-H mudah berikatan dengan ion  $\pm$  ion logam berat yang masuk ke dalam tubuh, akibat dari ikatan yang terbentuk antara gugus S-H dan logam berat, daya kerja yang dimiliki oleh enzim menjadi sangat berkurang atau sama sekali tidak bekerja.

Kandungan timbal (Pb) dalam makanan yang dikonsumsi dapat masuk ke dalam tubuh melalui sistem pencernaan, kemudian diserap oleh darah dan berikatan dengan eritrosit, terutama di tubulus proksimal ginjal. Akibatnya, fungsi ginjal dapat terganggu. Selain itu, timbal yang masuk ke dalam darah dapat menghambat sintesis heme, mengurangi produksi hemoglobin dalam darah, dan berpotensi menyebabkan berbagai gangguan kesehatan lainnya (Mulyadi, 2015). Umumnya

jika manusia mengonsumsi timbal sekitar 0,2-2mg/hari maka akan mengalami keracunan. Kandungan Pb dalam darah yang terlalu tinggi yakni di atas 30 ug/dl dapat menyebabkan efek sistemik lainnya adalah gejala gastrointestinal. Dampak lain keracunan timbal dapat menyebabkan sakit perut, konstipasi, kram, mual, muntah, dan anoreksia. Selain itu timbal (Pb) juga dapat menyebabkan kerusakan sistem saraf, kehilangan nafsu makan, depresi, sakit kepala, tekanan darah dan merusak fungsi organ (Gusnita, 2012).

#### **2.4.2. Efek Paparan Logam Kadmium (Cd)**

Logam kadmium (Cd) adalah elemen toksik yang memiliki dampak serius pada sistem ekologi perairan, sehingga dikategorikan sebagai limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). Keberadaan kadmium dalam perairan dapat mengancam keseimbangan ekologi dan kelangsungan hidup organisme. (Mamoribo et al., 2015). Menurut Purnomo & Purwana (2008) adanya kandungan Cd pada makanan, air dan udara tidak boleh lebih 20 ug/dl. Hal ini dapat menyebabkan terganggunya kesehatan pada manusia. Keracunan kadmium pada manusia dalam jangka waktu panjang dapat membahayakan kesehatan paru-paru, tulang, hati, ginjal, kelenjar reproduksi, berefek pada otak dan menyebabkan tekanan darah tinggi. Kadmium dalam tubuh akan terakumulasi dalam hati dan terikat sebagai metalotionein mengandung unsur sistein. Kadmium terikat dalam gugus sulfhidril (-SH) dalam enzim seperti karboksil sisteinil, histidil, hidroksil, dan fosfatil dari protein purin. Kemungkinan besar pengaruh toksisitas kadmium (Cd) disebabkan oleh interaksi antara kadmium (Cd) dan protein tersebut, sehingga menimbulkan hambatan terhadap aktivitas kerja enzim dalam tubuh. Logam Cd bersifat neurotoksin yang menimbulkan dampak kerusakan pada indera penciuman. Selain itu, logam ini

dapat menyebabkan melunaknya tulang karena kurangnya vitamin D, yang merupakan dampak dari paparan logam kadmium. Hal ini menyebabkan gangguan keseimbangan kandungan kalsium dan fosfat dalam ginjal, yang dikenal dengan nama osteomalasea atau penyakit "*Itaitai Byo*". (Kawung et al., 2018).

Kasus keracunan Cd yang pernah tercatat oleh National Health and Nutrition Examination Survey (1999–2006) ditemukannya kadar kadmium 0,41 µg/L memiliki faktor resiko gagal ginjal kronis. Penelitian di korea oleh Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) menemukan bahwa dengan kadar konsentrasi kadmium di dalam darah sebesar 1,53 µg/L memiliki faktor resiko terjadinya IHD (*Infark Heart Disase*). Selain itu terkontaminasi oleh logam kadmium memperburuk pasien dengan peritoneal dialysis. Logam ini juga menurunkan kepadatan tulang. Bahkan tingginya logam ini dalam darah berasosiasi dengan penurunan fungsi paru pada survei di korea (Sofiana et al., 2019).

#### **2.4.3. Efek Paparan Logam Merkuri (Hg)**

Limbah yang terbuang di perairan mengandung merkuri akan dimakan oleh mikroorganisme dan secara kimiawi berubah menjadi senyawa methyl-merkuri (Me-Hg). Logam Hg memiliki sifat racun dan daya ikat yang kuat disamping kelarutannya yang tinggi terutama dalam tubuh organisme air. Hal tersebut mengakibatkan logam Hg terakumulasi dengan baik melalui rantai makanan dalam proses bioakumulasi maupun biomagnifikasi dalam tubuh organisme air, sehingga kadar merkuri berbahaya bagi organisme air maupun kesehatan manusia jika dikonsumsi (Chamid et al., 2010). Dalam tubuh manusia merkuri masuk ke dalam melalui pernafasan, pencernaan dan kulit. Merkuri yang masuk ke dalam tubuh

akan terakumulasi pada bagian tubuh tertentu seperti ginjal, hati, kuku, jaringan lemak dan rambut yang akan mengakibatkan keracunan sistem syaraf (Kristianingsih, 2018).

Merkuri merupakan satu-satunya logam yang dalam bentuk cair pada suhu normal. Kadar Hg pada perairan tawar alami berkisar 10-100 nm/l (Wijayanti, 2017). Menurut Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 bahwa kadar maksimum merkuri untuk keperluan air baku air minum kurang dari 0,001 mg/l dan untuk kegiatan perikanan yang diperbolehkan kurang dari 0,002 mg/l. Bila dalam air atau makanan, kadar merkuri sudah melampaui NAB, maka air maupun makanan yang diperoleh dari tempat tertentu dinyatakan berbahaya. Nilai Ambang Batas yaitu suatu keadaan untuk larutan kimia, dalam hal ini merkuri dianggap belum membahayakan bagi kesehatan manusia (Belami et al., 2014).

Toksisitas merkuri pada manusia dapat dibedakan berdasarkan bentuk senyawa Hg, yakni inorganik dan organik. Keracunan inorganik Hg dapat menyebabkan gejala tremor pada orang dewasa, yang kemudian berkembang menjadi tremor pada otot wajah, menyebar ke jari-jari dan tangan. Dalam kasus lanjut, tremor dapat melibatkan lidah, menyebabkan bicara terbata-bata, gangguan berjalan, kekakuan, dan hilangnya keseimbangan. Selain toksisitas Hg inorganik, bentuk Hg organik juga sangat berbahaya. Keracunan Hg organik dapat merusak hati dan ginjal karena akumulasi tinggi merkuri terjadi terutama di organ-organ tersebut. Contoh tragis dari toksisitas metil merkuri adalah kasus "Minamata Disease" yang terjadi di Jepang, menimpa baik orang dewasa maupun anak-anak (Wijayanti, 2017).

Kasus Minamata yang kemudian dikenal menyebabkan penyakit Minamata adalah pencemaran MeHg yang dramatis di dunia pada tahun 1950an. Kasus ini membuktikan pencemaran MeHg pada ikan yang dikonsumsi oleh masyarakat mengakibatkan 1.000 orang meninggal dan menghabiskan biaya sebesar \$342 juta untuk membersihkan Teluk Minamata dari limbah pabrik kimia Chisso Corp. Hasil penelitian oleh National Institute Minamata Disease, keracunan kronik MeHg akan terakumulasi dalam jaringan otak karena bentuk MeHg menyerupai asam amino sehingga dapat mengelabui sensor pembuluh darah dalam otak makhluk hidup (Chamid et al., 2010).

## **2.5. Tinjauan tentang Sumber Belajar**

### **2.5.1. Pengertian Sumber Belajar**

Sumber belajar didefinisikan sebagai segala sesuatu yang memfasilitasi proses belajar bagi peserta didik dan tenaga pengajar. Melalui sumber belajar, diharapkan dapat diperoleh sejumlah informasi, pengetahuan, pengalaman, dan keterampilan yang diperlukan, yang dapat dimanfaatkan baik secara langsung maupun tidak langsung (Susilo, 2018). Sumber belajar memegang peranan penting dalam kegiatan pembelajaran yang menarik dan bermakna. Melalui sumber belajar kegiatan pembelajaran dapat membantu peserta didik dalam aspek perkembangannya, baik aspek kognitif, sosial, bahasa, motorik, afeksi dan moral (Suhirman, 2018). Sumber belajar sebagai sarana komunikasi dan berinteraksi dengan peserta didik dalam proses belajar mengajar. Sumber belajar yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kreatifitas dalam proses pembelajaran berupa buku teks, media cetak, media elektronik, narasumber dan lingkungan sekitar (Nur, 2012).



### 2.5.2. Macam-Macam Sumber Belajar

Menurut Jailani (2016) sumber belajar dibagi menjadi dua macam jika dilihat dari segi perancangannya yakni sebagai berikut :

1. Sumber belajar yang dirancang (*learning resources by design*) merupakan sumber belajar yang secara khusus dirancang dan dikembangkan untuk memberikan fasilitas belajar yang terarah sehingga memudahkan peserta didik dalam mencapai tujuan pembelajaran. Contohnya buku, slide, dan proyektor.
2. Sumber belajar yang dimanfaatkan (*learning resources by utilization*) merupakan sumber belajar yang tidak dikhususkan dalam proses pembelajaran namun keberadaannya ini dapat dimanfaatkan untuk keperluan pembelajaran secara langsung. Sumber belajar ini dapat ditemukan dalam kehidupan bermasyarakat, contohnya seperti pasar, toko, museum, lingkungan sekitar maupun seorang tokoh masyarakat.

### 2.5.3. Fungsi Sumber Belajar

Menurut Samsinar (2019) dalam kegiatan pembelajaran, sumber belajar dapat berfungsi untuk:

1. Meningkatkan kualitas proses dan hasil belajar, karena sumber belajar dapat mendukung proses belajar dengan penggunaan waktu secara efisien oleh pendidik.
2. Dengan adanya sumber belajar penyajian informasi oleh pendidik lebih sedikit, sehingga dapat mengurangi beban pendidik karena pendidik hanya membina dan mengembangkan semangat belajar peserta didik saja.
3. Memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk belajar dengan mandiri sesuai dengan kemampuan dan potensinya.

4. Memberikan dasar-dasar pembelajaran yang lebih ilmiah kepada peserta didik karena program pembelajaran direncanakan secara sistematis.
5. Mengembangkan bahan pembelajaran yang berbasis penelitian terlebih dahulu.
6. Memantapkan pembelajaran dengan cara meningkatkan kemampuan manusia dalam menggunakan berbagai media komunikasi, penyajian data, dan informasi secara kongkrit secara lebih mudah.

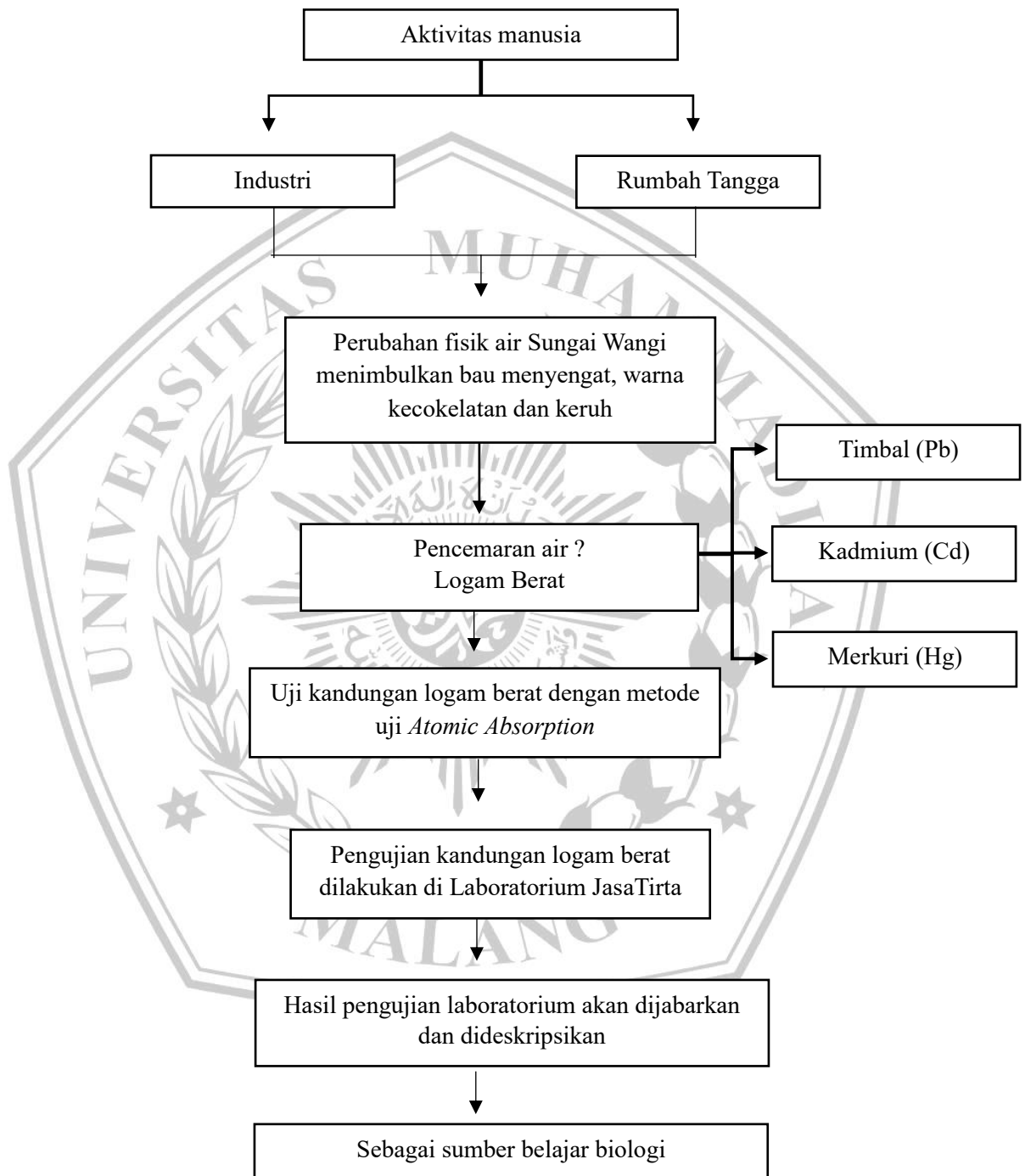
#### **2.5.4. Pemanfaatan Hasil Penelitian Sebagai Sumber Belajar Biologi**

Pemanfaatan hasil penelitian sebagai sumber belajar yang ideal menurut Situmorang (2016) harus memenuhi beberapa kriteria yaitu :

1. Kejelasan potensi, potensi suatu objek dapat ditentukan oleh ketersediaan objek dan permasalahan yang dapat ditemukan untuk menghasilkan fakta dan konsep dari hasil penelitian yang harus dicapai dalam kurikulum.
2. Kesesuaian dengan tujuan, yaitu hasil penelitian sesuai dengan kompetensi dasar (KD).
3. Kejelasan sasaran, yaitu terkait objek dan subjek penelitian.
4. Kejelasan informasi yang diungkap.
5. Kejelasan pedoman eksplorasi, yang meliputi penentuan sampel dalam penelitian. alat dan baha, cara kerja, pengolahan data dan penarikan kesimpulan.
6. Kejelasan hasil yang diharapkan, yaitu merupakan hasil yang berupa proses dan produk. Penelitian ini juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar bagi peserta didik karena informasi yang dipaparkan diperoleh melalui pengamatan peneliti secara langsung.

## 2.6. Kerangka konseptual

Kerangka konseptual dari penelitian disajikan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Kerangka Konseptual