

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Lingkungan

2.1.1 Definisi Pencemaran Lingkungan

Pencemaran adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energy dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya (UU PLH No.23 Tahun 1997). Pencemaran adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energy dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan (UU PLH No.32 Tahun 2009). Sedangkan lingkungan menurut Palar (2012) merupakan sebagai media atau areal, tempat atau wilayah yang didalamnya terdapat bermacam-macam bentuk aktivitas yang berasal dari ornamen-ornamen penyusunnya. Maka dari itu, pencemaran lingkungan adalah sebagai perubahan terhadap lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan manusia, jumlah organisme, tingkat radiasi dan pola penggunaan energi sehingga terjadi penurunan kualitas lingkungan dan tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya (Sastrawijaya, 2009). Pencemaran lingkungan terjadi apabila ada penyimpangan dari lingkungan yang disebabkan oleh pencemaran dan berakibat jelek terhadap lingkungan (Sastrawijaya, 2009).

2.1.2 Zat-zat Pencemar Lingkungan

Pencemaran lingkungan terjadi akibat masuknya zat asing (polutan) ke dalam suatu lingkungan sehingga lingkungan itu menjadi tercemar. Menurut Suyono (2014) ada 3 jenis polutan, yaitu :

1. *Stock pollutant*. Polutan ini terjadi apabila lingkungan memiliki daya serap sedikit atau tidak sama sekali, miasalnya bahan kimia sintesis persisten dan logam berat sehingga akan terakumulasi dari waktu ke waktu.
2. *Fund pollutant*. Polutan ini terjadi apabila lingkungan memiliki kekuatan daya serap. Polutan ini tidak menyebabkan kerusakan lingkungan kecuali jika

sudah melebihi daya serap si penerima. Polutan ini tidak dapat dihancurkan, melainkan dikonversi menjadi zat yang kurang berbahaya/tidak berbahaya.

3. *Notable pollutant*. Polutan ini sangat terkenal karena potensinya mengganggu lingkungan hidup, misalnya logam berat, polutan organik persisten, polisiklik aromatik hidrokarbon, volatil senyawa organik, dan xenobiotik lingkungan.

2.1.3 Macam-macam Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan berdasarkan macamnya menurut Sastrawijaya (2009) adalah pencemaran tanah, pencemaran udara dan pencemaran air. Uraian tersebut, sebagai berikut :

1. Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah ialah perubahan fisik atau kimiawi pada tanah sehingga mengganggu kehidupan jasad yang hidup di dalam tanah maupun di permukaan. Sumber-sumber pencemaran tanah adalah sebagai berikut :

1. Pencemaran tanah oleh penggunaan pestisida atau insektisida secara berlebihan
2. Pencemaran tanah oleh pembuangan limbah yang tidak dapat diolah seperti plastik.

2. Pencemaran Udara

Pencemaran udara ialah jika udara diatmosfer dicampuri dengan zat atau radiasi yang berpengaruh jelek terhadap organisme hidup. Jumlah pengotoran ini cukup banyak sehingga tidak dapat diabsorpsi atau dihilangkan.

Sumber-sumber pencemaran udara dapat digolongkan menjadi 3 bagian, sebagai berikut :

1. Pergesekan permukaan, yakni peng-gergajian, pengeboran atau pengasahan barang-barang seperti kayu, minyak, aspal, dan baja yang memberikan banyak partikel ke udara.
2. Penguapan, yakni uap-uap dari industri yang berhubungan dengan cat, logam, bahan kimia.
3. Pembakaran, yakni pembakaran tidak sempurna misalnya jelaga dan karbon monoksida.

3. Pencemaran Air

Pencemaran air adalah kegiatan kontaminasi lingkungan dengan adanya aktivitas manusia yang menghasilkan limbah dan masuk kedalam air. Sumber limbah ini dapat berupa limbah bahan baku/mentah, bahan kimia, sampah atau pupuk (Suyono, 2014). PP Nomor 82 Tahun 2001 Pasal 1 Ayat 11 mendefinisikan pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energy, dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya.

Menurut Perdana (2010) air tercemar bila salah satu atau lebih kondisi berikut ini terpenuhi yaitu :

1. Mengakibatkan naik turunnya keasaman air.
2. Akan terjadi perubahan sifat fisika air misalnya terjadi perubahan warna, air menjadi keruh, berbau dan perubahan suhu air.
3. Permukaan air tertutup oleh lapisan terapung, berupa minyak, lemak dan bahan padat lainnya.
4. Peningkatan kandungan bahan-bahan organik maupun dan anorganik dalam air.
5. Meningkatkan zat-zat tersuspensi dalam air.

Menurut Sastrawijaya (2009) bahwa air yang tercemar dapat dilihat dari beberapa aspek, sebagai berikut :

1. Aspek Fisik, berikut beberapa indikator tercemar atau tidaknya air, sebagai berikut :
 1. Tingkat kekeruhan (turbiditas)
 2. Warna
 3. Suhu
 4. Volume aliran
 5. Tingkat keasaman (pH)
2. Aspek Biokimia Polusi Air, hal ini dapat dilihat dari kadar oksigennya dengan melakukan pengujian BOD, COD dan DO.

Parameter pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, sebagai berikut :

Tabel 2.1 kriteria mutu air berdasarkan kelas

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
FISIKA						
Temperatur	°C	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 5	Deviasi temperatur dari keadaan alamiahnya
Residu Terlarut	mg/L	1000	1000	1000	2000	
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, residu tersuspensi ≤ 5000 mg/L
KIMIA ORGANIK						
pH		6-9	6-9	6-9	5-9	Apabila secara alamiah diluar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka batas minimum
Total Fosfat sbg P	mg/L	0,2	0,2	1	5	
NO 3 sebagai N	mg/L	10	10	20	20	
NH3-N	mg/L	0,5	-	-	-	Bagi perikanan, kandungan ammonia bebas untuk ikan yang peka ≤ 0,02 mg/L sebagai NH3
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1	
Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	

Barium	mg/L	1	-	-	-	
boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
Cadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
Khrom (VI)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,01	
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Cu $\leq$ 1 mg/L
Besi	mg/L	0,3	-	-	-	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Fe $\leq$ 5 mg/L
Timbal	mg/L	0,03	0,03	0,03	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Pb $\leq$ 0,1 mg/L
Mangan	mg/L	0,1	-	-	-	
Air Raksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
Seng	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Zn $\leq$ 5 mg/L
Khlorida	mg/L	600	-	-	-	
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	
Fluorida	mg/L	0,5	1,5	1,5	-	
Nitrit sebagai N	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, N sebagai NO ₂ $\leq$ 1 mg/L
Sulfat	mg/L	400	-	-	-	
Khlorin Bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03-		Bagi ABAM tidak dipersyaratkan
Belerang sebagai H ₂ S	mg/L					Bagi pengolahan air minum secara konvensional, S

						sebagai H ₂ S ≤ 0,1 mg/L
MIKROBIOLOGI						
Fecal coliform	Jml/100 ml	100	1000	2000	2000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, fecal coliform ≤ 2000 jml/100 ml
-Total coliform	Jml/100 ml	1000	5000	10000	10000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, total coliform ≤ 10000 jml/100 ml
-RADIOAKTIVITAS						
-Gross A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
-Gross B	Bq/L	1	1	1	1	
KIMIA ORGANIK						
Minyak dan Lemak	ug/L	1000	1000	1000	-	
Deterjen sebagai MBAS	ug/L	200	200	200	-	
Senyawa Fenol	ug/L	1	1	1	-	
BHC	ug/L	210	210	210	-	
Aldrin / Dieldrin	ug/L	17	-	-	-	
Chlordane	ug/L	3	-	-	-	
DDT	ug/L	2	2	2	2	
Heptachlor dan Heptachlore epoxide	ug/L	18	-	-	-	
Lindane	ug/L	56	-	-	-	
Methoxychlor	ug/L	35	-	-	-	
Endrin	ug/L	1	4	4	-	
Toxaphan	ug/L	5	-	-	-	

Keterangan :
mg = milligram
ug = microgram
ml = mililiter

L = liter

Bq = Bequerel

MBAS = Methylene Blue Active Substance

ABAM = Air Baku untuk Air Minum

Logam berat merupakan logam terlarut

Nilai di atas merupakan batas maksimum, kecuali untuk pH dan DO

Bagi pH merupakan nilai rentang yang tidak boleh kurang atau lebih dari nilai yang tercantum

Nilai DO merupakan batas minimum

2.2 Sungai

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 1991 Sungai adalah tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi kanan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan. Sungai sebagai sumber air merupakan salah satu sumber daya alam yang mempunyai fungsi serbaguna bagi kehidupan dan penghidupan manusia (Deazy, 2011). Sungai yang sebelumnya menjadi tempat untuk kelangsungan hidup makhluk hidup, sekarang sudah berubah akibat aktivitas manusia dan perindustrian yang membuang limbahnya ke dalam sungai sehingga menjadi tercemar (Weda, 2016).

2.2.1 Zat Pencemar Sungai

Zat-zat pencemar pada sungai dapat berasal dari berbagai sumber salah satunya adalah limbah. Dilihat dari segi substansi limbah sebagai satu kesatuan (*as a whole*), menurut Sastrawijaya (2009) berdasarkan asalnya sumber limbah yang mencemari air dapat digolongkan menjadi 2, sebagai berikut :

1. Limbah Domestik, masyarakat secara langsung atau tidak langsung membuang limbahnya ke sungai.
2. Limbah nondomestik, sangat bervariasi terlebih-lebih untuk limbah industry. Limbah pertanian biasanya terdiri atas bahan padat bekas tanaman yang bersifat organis, bahan pemberantas hama dan penyakit (pestisida), bahan pupuk yang mengandung nitrogen, fosfor, sulfur, mineral dan sebagainya.

2.2.2 Kondisi Sungai di Desa Tambak Oso Kecamatan Waru Kabupaten Sidoarjo

Pertambahan jumlah penduduk yang diikuti dengan peningkatan aktivitas pembangunan, salah satunya adalah dari segi industri yang berkembang saat ini. Kondisi ini berpotensi menyebabkan peningkatan volume limbah yang dihasilkan sehingga secara langsung atau tidak langsung dapat menyebabkan pencemaran salah satunya pencemaran pada badan air. Pencemaran pada badan air selalu berarti turunnya kualitas air sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya serta berdampak juga ke organisme air di perairan tersebut, salah satunya ikan mujair yang sering didapatkan oleh masyarakat Desa Tambak Oso Kecamatan Waru Kabupaten Sidoarjo.

Secara Subjektif, kondisi air di Sungai Tambak Oso Kecamatan Waru Kabupaten Sidoarjo termasuk air yang sudah tercemar karena terlihat dari kekeruhan dan permukaan air yang tertutup oleh lapisan terapung, berupa padatan. Sungai ini menjadi tempat pembuangan limbah domestik seperti air cucian, sampah organik maupun anorganik. Untuk melihat tingkat kekeruhan serta padatan yang ada di permukaan sungai dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



A



B

Gambar 2.1 Kondisi sungai Tambak Oso

Keterangan :

A. Kondisi Sungai Tambak Oso daerah pintu air

B. Kondisi sungai Tambak Oso daerah sepanjang pemukiman warga

2.3 Logam Berat

2.3.1 Definisi dan Karakteristik Logam Berat

Sherly (2013) menyebutkan logam berat (*Heavy Metal*) adalah logam dengan massa jenis lima atau lebih, dengan nomor atom 22 sampai 92. Kelompok logam berat ini ada $\pm$ 40 jenis. Logam-logam berat tersebut merupakan unsur yang dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam jumlah yang sangat kecil sehingga jika kelebihan maka akan menyebabkan keracunan pada makhluk hidup tersebut. Logam berat merupakan klasifikasi untuk logam yang menimbulkan toksisitas (Duffus, 2002; Andreas, 2011).

Sudarwin, (2008) menyatakan bahwa karakteristik logam berat adalah sebagai berikut:

1. Memiliki spesifikasi gravitasi yang sangat besar (lebih dari 4)
2. Mempunyai nomor atom 22-23 dan 40-50 serta unsur laktanida dan aktinida
3. Mempunyai respon biokimia yang khas (spesifik) pada organisme hidup.

Semua logam berat dapat dikatakan sebagai bahan beracun yang akan meracuni makhluk hidup. Sebagai contoh logam berat air raksa (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan krom (Cr).

2.3.2 Logam Berat Sebagai Zat Pencemar Lingkungan

Logam Berat merupakan zat pencemar yang memiliki efek berbahaya karena sifatnya yang tidak dapat diuraikan secara biologis dan stabil. Ada dua hal yang menyatakan logam berat termasuk sebagai pencemar berbahaya, yaitu tidak dihancurkan oleh mikroorganisme yang hidup di lingkungan dan terakumulasi dalam komponen-komponen lingkungan, terutama air dengan membentuk kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara adsorpsi dan kombinasi (Sherly, 2013).

Sumah (2013) mengatakan logam berat seperti aluminium, tembaga, nikel, dan selenium bersumber dari geokimia dan antropogenik lalu masuk ke lingkungan. Apabila logam berat tersebut bersifat persisten maka terjadi

akumulasi yang selanjutnya timbul pencemaran lingkungan. Biokonsentrasi logam berat dapat menimbulkan toksisitas. Logam berat pada konsentrasi rendah umumnya sudah beracun bagi makhluk hidup. Unsur-unsur logam berat tersebar di permukaan bumi (air dan tanah) dan udara. Logam berat tersebut dapat berbentuk senyawa organik, anorganik atau terikat dalam senyawa yang lebih berbahaya daripada keadaan murninya (Sudarwin, 2008). Logam berat pada limbah biasanya berada dalam berbagai macam kondisi, seperti tidak terlarut, terlarut, anorganik, tereduksi, teroksidasi, logam bebas, terpresipitasi, dan dalam bentuk kompleks (Sherly, 2013).

Logam berat merupakan kontaminan yang banyak terdapat di lingkungan, karena logam berat berbahaya bagi manusia dan biota lainnya, tergantung pada fisiokimia (karakteristik kimia) dari logam berat tersebut dan kondisi kimia yang berlaku. Kontaminasi logam berat dapat menyebabkan polusi tanah dan air, kerusakan struktur tanah, kehancuran landscape ekologi dan penurunan keanekaragaman hayati dengan hilangnya vegetasi penutup dan konsekuensi resiko diperburuk dengan munculnya tanah yang terkontaminasi logam dan area sekitarnya serta penduduk (Weda, 2016).

Logam berat yang masuk ke perairan umumnya mengendap di dasar perairan karena Pb dan Cd memiliki densitas yang lebih besar dari air sungai. Logam berat tersebut akan terakumulasi pada sedimen dan detritus, sehingga Pb dan Cd masuk ke dalam tubuh ikan dan akhirnya akan terakumulasi (Simbolon dkk, 2010).

Logam berat yang mencemari lingkungan, sebagian besar disebarkan melalui jalur air. Proses ini akan lebih cepat bila memasuki tubuh manusia melalui rantai makanan. Pencemaran lingkungan oleh logam berat umumnya terjadi pada daerah-daerah pertambangan. Sebenarnya alam memiliki kemampuan sendiri untuk mengatasi pencemaran (*Self Recovery*), namun alam memiliki keterbatasan. Setelah batas itu terlampaui, maka pencemar akan berada di alam secara tetap atau terakumulasi dan kemudian berdampak pada manusia, material, hewan, tumbuhan dan ekosistem (Susilowati, 2011).

Fluktuasi logam berat dipengaruhi oleh tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) yang tumbuh di sungai tersebut. Penelitian Tosepu (2012) membuktikan bahwa eceng gondok mampu menyerap logam berat sampai pada titik nol. Kemampuan eceng gondok dalam menyerap berbagai polutan perairan, di antaranya logam berat plumbum dan cadmium, tidak terlepas dari kandungan / struktur batang tumbuhan ini. Menurut Syahrul (2013) kemampuan menyerap disebabkan pada protoplasma dan jaringan tubuhnya yang terdapat banyak ruang besar. Di dalam sel terdapat asam amino seperti glisin, asam glutamat, protein, dan asam aspartat dalam jumlah yang besar, juga terdapat gugus karboksilat dan gugus hidroksil, yang dengan mudah membentuk senyawa kelat dengan logam berat yang ada di lingkungan.

Aspek fisika dan kimia seperti pH dan suhu mempengaruhi kelarutan logam berat. Penelitian yang telah dilakukan Ika (2012) telah membuktikan bahwa suhu suatu perairan dapat mempengaruhi proses kelarutan akan logam-logam berat yang masuk ke perairan. Dalam penelitiannya yang dilakukan di sungai toraja, Bogor menunjukkan kenaikan suhu 10 °C pada 10 hari pertama diikuti dengan kadar logam berat yang tinggi di sungai tersebut yaitu 0,015 ppm, sedangkan 10 hari berikutnya suhu menurun 5 °C dengan kadar logam berat 0,012 ppm, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu suatu perairan maka kelarutan logam berat akan semakin tinggi pula. Palar (2012), perubahan pH ke arah asam pada perairan akan mengakibatkan semakin besar kelarutan dari Pb dan Cd dan akan semakin tinggi juga kadar Pb dan Cd pada ikan.

2.3.3 Macam-macam Logam Berat

Logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan menurut Sherly (2013) adalah merkuri (Hg), timbal (Pb), arsenik (As), kadmium (Cd), dan nikel (Ni). Berikut penjelasannya :

1. Merkuri (Hg)

Logam merkuri atau air raksa, mempunyai nama *hydragyrum* yang berarti perak cair. Logam ini dilambangkan dengan Hg. Dalam keseharian pemakaian bahan merkuri telah berkembang sangat luas. Merkuri digunakan dalam bermacam perindustrian untuk peralatan listrik, digunakan sebagai alat ukur dalam

dunia pertanian, sedemikian luasnya pemakaian merkuri, mengakibatkan semakin mudah organize mengalami keracunan merkuri.

2. Timbal (Pb)

Timbal (Pb) adalah logam lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat serta mudah dimurnikan dari pertambangan. Timbal sendiri dikenal sebagai timah hitam, logam Timbal diperoleh melalui proses geologi, timbal terkonsentrasi dalam deposit bijih logam. Timbal memiliki karakteristik kimia berupa titik lebur rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif. Selain itu, timbal meleleh pada suhu 328 C, titik didihnya 1740 C dan memiliki gravitasi 11, 34 dengan berat atom 207,20. Timbal tergolong ke dalam logam berat yang dalam system periodic unsur ini terletak pada golongan IV A dan periode ke 6. Di alam Timbal terdapat dalam bentuk senyawa sulfat (PbSO_4), karbonat (PbCO_3) dan sulfida (PbS) (Rodieisier, 2009).

Logam timbal digunakan dalam industry baterai, kabel, penyepuhan, pestisida, sebagai zat antiletop pada bensin, zat penyusun patri atau solder, sebagai formulasi penyambung pipa sehingga memungkinkan terjadinya kontak air rumah tangga dengan timbal (Perdana, 2010).

3. Arsenik (As)

Arsen sudah lama dikenal sebagai bahan obat dan sangat beracun sehingga banyak digunakan sebagai racun pembunuh. Kasus dari toksisitas logam arisen ini jarang terjadi. Kasus yang pernah terjadi kebanyakan disuatu pabrik. Industry yang mengeluarkan limbah arsen adalah pabrik gelas, produksi bahan warna (pigmen), dan pabrik yang memproduksi bahan kimia arsen (Bahrollloh, 2016).

4. Kadmium (Cd)

Kadmium adalah suatu logam putih, mudah dibentuk, lunak dengan warna kebiruan. Titik didih relative rendah (767 °C) membuatnya mudah terbakar, membentuk asap kadmium oksida (Sudarwin, 2008). Kadmium (Cd) digunakan pada penyepuhan logam, pembuatan logam campuran, dan terdapat pada solder perak. Selain itu, cadmium juga digunakan dalam industry baterai, plastic, dan pewarna di industry tekstil. Patologi yang ditemukan pada kasus keracunan cadmium dalam pencernaan adalah peradangan pada saluran pencernaan dan kerusakan hati dan ginjal (Mihardja, 2001;Andreas, 2011).

5. Nikel (Ni)

Nikel (Ni) adalah logam berwarna putih perak dengan berat jenis 8,5 dan berat atom 58,71 g/mol. Nikel bias digunakan untuk memproduksi stainless steel karena nikel merupakan logam yang resisten terhadap korosi dan oksidasi pada temperature tinggi. Bijih nikel mengandung kadar Ni tinggi sedangkan ferronikel adalah paduan logam antara nikel dan besi, karakteristik nikel yaitu memiliki sifat kuat, dapat ditempa, serta tahan terhadap karat dan oksidasi.

2.3.4 Sumber Cemaran Logam Berat

Aktivitas manusia merupakan sumber yang menyebabkan logam berat mencemari lingkungan. Logam berat bersumber dari kegiatan industri seperti pengecoran, industri kimia, pembuatan pipa, baterai solder (Dinis, 2011). Unsur timbal dan kadmium merupakan logam berat yang paling banyak mencemari lingkungan dan menimbulkan toksisitas pada hewan dan pada proses aerobik dan anaerobik (Dinis, 2011). Salah satu cemaran logam berat yang diakibatkan oleh aktivitas manusia diantaranya sebagai berikut :

1. Timbal (Pb)

Pencemaran yang ditimbulkan oleh timbal berasal dari sumber alami maupun limbah hasil kegiatan manusia dengan jumlah yang terus meningkat, baik di lingkungan air, udara maupun darat, Penggunaan timbal dalam Industri kimia cukup luas antara lain, dalam industry battery, industry keramik, industry cat, buangan industry metalurgi, proses korosi lead bearing alloys, pembakaran batu bara, asap pabrik yang mengolah alkil-Pb serta Pb-oksida. Sumber utama pencemaran Pb berasal dari sektpr manufaktur atau bangunan, selanjutnya dari transportasi dan komunikasi (Sherly, 2013).

Pb masuk ke dalam perairan merupakan dampak aktivitas kehidupan manusia seperti air buangan (limbah) dari industri, air buangan dari pertambangan biji timah hitam dan buangan sisa industri baterai. Buangan-buangan tersebut akan jatuh pada jalur-jalur perairan seperti anak-anak sungai untuk kemudian akan dibawa terus menuju lautan. Umumnya limbah perindustrian yang mengandung Pb akan merusak tata lingkungan perairan yang dimasukinya (Bahrolloh, 2016).

2. Kadmium (Cd)

Logam berat Kadmium (Cd) bersumber dan masuk ke lingkungan akibat aktivitas manusia sebab semua bidang industri yang melibatkan Kadmium (Cd) dalam operasional industrinya menjadi sumber pencemaran. Kadmium di perairan berasal dari endapan atmosfer, debu, air pengolahan limbah dan limbah cair industri (Widowati et al, 2008; Rodieiser, 2009).

Mueller (1979) dalam Palar, H (2012) mengemukakan bahwa kandungan logam Cd paling banyak di limbah yang padat dibandingkan dengan limbah yang lain, penelitian ini dilakukan di perairan teluk New York pada tahun 1979 ini bisa dilihat dari tabel 2.2 dibawah ini :

Tabel 2.2 Perbandingan limbah padat dengan limbah lain

Asal Sampel	Kons. Cd (%)
Limbah padat	82
Limbah cair rumah tangga	5
Limbah cair industri	0,6
Aliran dari pemukiman perkotaan	5
Aliran air tanah	>1
Lain-lain	5

Sumber : Palar, H (2012)

2.3.5 Dampak Pencemaran Logam Berat Terhadap Makhluk Hidup

Pencemaran logam berat memiliki dampak bagi makhluk hidup, salah satunya adalah dampak bagi kesehatan. Semua logam berat pasti memiliki dampak masing-masing terhadap makhluk hidup. Salah satu logam berat yang berbahaya bagi makhluk hidup adalah sebagai berikut :

1. Timbal (Pb)

Logam timbal adalah logam yang sangat beracun jika terlepas dan terhirup atau tertelan, yang mempenaruhi hampir setiap organ dan system dalam tubuh, dimana sasaran utamanya adalah system saraf (Palar, 2012). Logam timbal menghambat sintesis porphobilinogen synthase dan ferrochelataase, mencegah pembentukan porphobilinogen. Di dalam tubuh manusia timbal bisa menghambat aktivitas enzim yang terlibat dalam pembentukan hemoglobin (Hb) dan sebagian kecil timbal diekskresikan melalui urin atau feses karena sebagian terikat oleh protein, namun sebagian lagi terakumulasi dalam ginjal, hati, kuku, jaringan

lemak dan rambut (Febrianto, 2011).

Logam berat umumnya bersifat kumulatif, termasuk timbal. Menurut Deazy (2011) mekanisme toksisitas timbal berdasarkan organ yang dipengaruhi adalah sebagai berikut :

1. Sistem haemopoietik; dimana timbal menghambat system pembentukan hemoglobin (Hb) sehingga menyebabkan anemia
2. Sistem saraf; dimana timbal bisa menimbulkan kerusakan otak dengan gejala epilepsy, halusinasi, kerusakan otak besar dan delirium.
3. Sistem urinaria; dimana timbal dapat menyebabkan lesi tubulus proksimalis dan aminosiduria
4. Sistem gastro-intestinal; dimana timbal dapat menyebabkan kolik dan konstipasi.
5. Sistem kardiovaskuler; dimana timbal dapat menyebabkan peningkatan permeabilitas pembuluh darah
6. Sistem reproduksi berpengaruh terutama pada gametotoksisitas atau janin belum lahir menjadi peka terhadap timbal. Ibu hamil yang terkontaminasi timbal dapat mengalami keguguran, tidak berkembangnya sel otak embrio, kematian janin waktu lahir, serta hipospermia dan teratospermia pada pria
7. Bersifat karsinogenik pada dosis tinggi

Penelitian Sahetapy (2011) dalam Sherly (2013), tentang toksisitas logam berat timbal terhadap *juvenile* ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) menunjukkan hasil analisis tentang pengaruh toksisitas timbal pada berbagai konsentrasi terhadap tingkat konsumsi oksigen, kadar glukosa darah, respon hematologi, kelangsungan hidup dan laju pertumbuhan pada ikan kerapu macan diperoleh: toksisitas logam berat timbal pada *juvenile* ikan kerapu macan akan menurunkan tingkat konsumsi oksigen hingga mencapai 0,34 mg, O₂/gr berat tubuh ikan/jam, kadar hematocrit 9,66%, kadar Hb 2,64%, dan jumlah eritrosit 0,77 x 10⁶ sel/mm³ dan dimulai pada konsentrasi 6,86 ppm. Selain itu, toksisitas logam berat juga meningkatkan jumlah leukosit hingga mencapai 0,81 x 10⁶ sel/mm³ dan meningkatkan kadar glukosa darah sebesar 90,79 mmol/liter dan dimulai pada konsentrasi 6,86 ppm. Toksisitas logam berat timbal memberikan

pengaruh terhadap laju pertumbuhan dan menurunkan tingkat kelangsungan hidup ikan kerapu. Tingginya konsentrasi timbal yang mencemari perairan dapat mengganggu proses kelangsungan hidup ikan kerapu, karena timbal berikatan dengan lendir insang dan akan menyebabkan gangguan pada system pernapasan ikan kerapu sehingga menurunkan kemampuan sel darah merah mengikat oksigen dan menghalangi kerja enzim sehingga proses fisiologi dan metabolisme tubuh terganggu (Sherly, 2013).

2. Kadmium (Cd)

Logam Cd membawa sifat racun yang sangat merugikan bagi semua makhluk hidup, termasuk manusia. Logam ini akan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup. Logam ini masuk ke dalam tubuh bersama makanan yang dikonsumsi bersama makanan yang terkontaminasi oleh logam Cd. Jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan, apabila jumlahnya sudah melebihi ambang batas akan menyebabkan kematian bagi biota ataupun manusia yang mengkonsumsinya (Andreas, 2011).

Logam berat ini dapat masuk ke dalam tubuh manusia dapat melalui asap rokok sebungkus rokok sehari dapat melipatgandakan asupan Cd, mangkok piring keramik dan mangkok piring yang pembakarannya tidak tepat merupakan sumber Cd (Frank, 2010). Efek akut pajanan Cd mengakibatkan iritasi lokal. Setelah termakan, manifestasi klinisnya berupa mual, muntah-muntah, dan nyeri perut sedangkan setelah penghirupan, efek yang ditimbulkan adalah edema paru dan pneumonitis kimia. Cadmium diekskresi sangat lambat dengan paruh waktu sekitar 30 tahun. Keracunan pada tubuh manusia yang disebabkan oleh Cd umumnya berupa kerusakan-kerusakan pada sistem fisiologis tubuh. Sistem-sistem tubuh yang dapat dirusak oleh Cd menurut Frank (2010) adalah, sebagai berikut :

1. Sistem Pernafasan disebabkan oleh pajanan lewat penghirupan. Bronkitis, kronis, fibrosis progresif pada saluran napas bagian bawah dan pecahnya sekat antara alveoli mengakibatkan emfisema.
2. Sistem Urinaria, kerusakan terhadap tubulus proksimal terjadi apabila kadar Cd dalam ginjal mencapai 200 µg/g. kerusakan pada tubulus ini

mengakibatkan ketidak mampuan menyerap kembali protein molekulkecil, salah satu diantaranya adalah mikroglobulin β .

Kadmium dapat ditemukan di perairan baik dalam sedimen maupun system penyediaan air minum. Kasus epidemik keracunan Cd pernah terjadi di kita Toyama, Jepang. Sekelompok masyarakat mengeluh sakit pinggang yang berlangsung selama beberapa tahun. Lama kelamaan penyakit ini bertambah parah, terjadi pelunakan tulang (*Osteomalcia*). Kadar Cd dan asam amino meningkat dalam urine penduduk meningkat. Penderita akhirnya mengalami pelunakan seluruh kerangka tulang dan kematian yang disebabkan oleh gagal ginjal (Sherly, 2013).

2.3.6 Absorpsi Logam Berat Oleh Organisme Air

Akumulasi logam berat pada ikan dapat terjadi karena adanya kontak antara medium yang mengandung toksik dengan ikan. Kontak berlangsung dengan adanya pemindahan zat kimia dari lingkungan air ke dalam atau permukaan tubuh ikan, misalnya logam berat masuk melalui insang. Masuknya logam berat kedalam tubuh organisme perairan dengan tiga cara yaitu melalui makanan, insang, dan difusi melalui permukaan kulit (Sumah, 2013). Masuknya logam berat ke dalam tubuh organisme perairan dapat melalui rantai makanan dan difusi melalui kulit dan insang sehingga mengakibatkan bioakumulasi logam berat dalam tubuh organisme tersebut (Hutagalung et al, 1991; Zubair, 2009).

Membran plasma dapat mengatur masuknya logam-logam berat ke dalam sel, kemudian mengontrol metabolisme logam berat itu sehingga menyebabkan membran menjadi ligan protein dalam sel (Zubair, 2009). Logam dalam kelas A (Na, K, Ca, Mg) merupakan logam yang terlibat dalam proses elektrokimiawi dan fungsi osmosis dari sel, sedang logam B (Cu, Zn, Cd, Hg, Pb) terlibat dalam proses-proses fungsi enzim secara normal (Sumah, 2013). Logam kelas B ini lebih reaktif terhadap ikatan ligan dengan sulfur dan nitrogen daripada logam kelas A, sehingga hal ini sangat penting dalam sistem fungsi metaloenzim yang mengganggu (bersifat racun) terhadap metabolisme sel itu sendiri. Apabila sitoplasma sel mengikat logam yang salah (non esensial) atau sitoplasma mengikat logam lain yang bukan semestinya maka dapat menyebabkan rusaknya kemampuan katalik dari sel tersebut (Weda, 2016).

Tubuh makhluk hidup biasanya memiliki kemampuan mentoleransi logam yang tidak diperlukan oleh tubuh (racun) melalui proses ekskresi tubuh oleh ginjal melalui urine (Darmono, 1995). Selain proses regulasi berupa ekskresi, hati ikan memiliki peran dalam mekanisme detoksifikasi (Rodieisier, 2009). Proses detoksifikasi logam berat pada hati melalui proses pengikatan logam (*metallothionein*) yang akan merangsang ikan untuk melakukan perlawanan secara fisiologis sehingga meminimalisir dampak racun yang ditimbulkan di dalam jaringan (Rodieisier, 2009). Kemampuan detoksifikasi oleh hati relatif terbatas sehingga logam berat yang berlebihan di dalam tubuh, akan didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh ikan melalui pembuluh darah (Soemirat, 2002; Sunarsih dkk, 2008).

Kondisi stres fisiologis sangat berpengaruh terhadap absorpsi logam dari air, kondisi ini menyebabkan terjadinya kenaikan absorpsi logam (Sumah, 2013). Ikan dapat melakukan mekanisme akumulasi Pb dan Cd seiring dengan meningkatnya konsentrasi Pb dan Cd di perairan dan sedimen, namun ikan juga dapat melakukan mekanisme eliminasi seiring dengan penurunan konsentrasi logam berat di perairan (Suseno, dkk, 2010).

Penelitian Febrianto (2011) tentang akumulasi Pb dan Cd pada juvenile ikan mujair secara *in situ* di Kali Surabaya. Dalam penelitiannya menggunakan metode *fish caged monitoring* menggunakan ikan mujair menunjukkan fluktuasi konsentrasi logam berat Pb dan Cd selama masa paparan (28 hari) pada ketiga stasiun penelitian dan hasilnya pada stasiun 1 berurut-urut sebesar 1,32 mg/kg; 1,03 mg/kg; 0,827 mg/kg dan 0,967 mg/kg, sedangkan hasil uji konsentrasi Pb pada tubuh ikan mujair di stasiun 2 setiap minggu selama 28 hari berturut-turut sebesar 1,019 mg/kg; 1,12 mg/kg; 0,767 mg/kg dan 0,815 mg/kg, lalu di stasiun 3 setiap minggu berturut-turut selama 28 hari sebesar 1,16 mg/kg; 1,122 mg/kg; 0,8 mg/kg; 0,906 mg/kg. Hal ini dikarenakan tinggi rendahnya derajat akumulasi logam dipengaruhi oleh sifat dari hewan tersebut, misalnya mekanisme regulasi, konsentrasi Pb dan Cd di air dan sedimen dan logam berat yang masuk ke dalam tubuh ikan dapat menyebabkan gangguan fisiologis sehingga ikan akan berusaha mengeluarkan logam berat tersebut melalui mekanisme regulasi. Ikan dapat

meregulasi logam berat yang ada di dalam tubuhnya sehingga resiko toksisitas logam berat dalam tubuhnya dapat dihindari.

Menurut Suseno, dkk (2010), ikan memiliki mekanisme regulasi, diantaranya ekskresi, detoksifikasi dan penyimpanan. Apabila mekanisme regulasi tidak mampu menyeimbangi penyerapan logam berat oleh organisme tersebut, maka resiko toksisitas dapat terjadi dimana terjadi kerusakan pada hati dan ginjal sebagai organ yang berperan dalam proses detoksifikasi dan ekskresi.

2.4 Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)

2.4.1 Klasifikasi dan Morfologi Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)

Ikan Mujair merupakan ikan air tawar yang umum dikonsumsi oleh masyarakat. Ikan mujair memiliki ukuran menengah dengan panjang maksimum yang dapat dicapai oleh 40 cm, berbentuk pipih dengan warna hitam, keabuan, kecoklatan hingga kuning (Gambar 2.1). Pada sirip bagian punggung (dorsal) terdapat 10-13 buah duri (Froese dkk, 2007;Made, 2015). Pada bagian kepala terdapat sisik yang berukuran lebih besar dibandingkan sisik yang terdapat pada sepanjang tubuh (Luna, 2012;Made, 2015). Ikan dewasa betina memiliki panjang rata-rata 25 cm dan berat 1100 gram, sedangkan pada ikan jantan memiliki panjang 35 cm dengan berat 800 hingga 900 gram (Froese, 2007;Made, 2015).

Berikut adalah Klasifikasi ikan Mujair :

Kerajaan	: Animalia
Filum	: Chordata
Kelas	: Actinopterygii
Ordo	: Perciformes
Famili	: Cichlidae
Genus	: <i>Oreochromis</i>
Spesies	: <i>Oreochromis mossambicus</i>

Sumber : Peters, W. 1852;Made, 2015



Gambar 2.2 Ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*)

Sumber : (<http://3.bp.blogspot.com>) diunduh pada tanggal 10 Februari 2017

Habitat ikan Mujair ditemukan pada habitat mulai dari air payau, air tawar hingga air laut. Ikan Mujair jantan adalah jenis ikan yang memiliki perilaku. Kepadatan populasi mempengaruhi tingkat agresifitas yang ditunjukkan agresif (Almada, 1996; Made, 2015). Ikan Mujair remaja mencapai kematangan seksual pada umur dua bulan dan memiliki ukuran 15-17 cm. Ikan Mujair adalah spesies yang memiliki pertumbuhan cepat dan mencapai ukuran maksimal dalam 5-6 bulan setelah menetas. Ikan Mujair betina memiliki sifat poliandri dan menggunakan ruang dalam mulutnya untuk menyimpan telur ikan yang akan menetas. Betina membawa telur di mulutnya untuk jangka waktu sekitar 12 hari dan pada saat tersebut makanan dan pernafasan induk ikan terbatas (Luna, 2012; Made, 2015).

2.4.2 Kandungan Gizi Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)

Ikan Mujair merupakan salah satu jenis ikan yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat karena rasanya yang enak, mudah didapat dan harganya murah. Ikan merupakan sumber protein hewani, memiliki kadar asam amino esensial yang tinggi.

Kandungan gizi ikan mujair juga cukup baik yaitu mengandung protein antara 43,57 – 55,60%, kadar lemak 2,70 – 11,20 pada kadar air 6,34 – 12,04%. Ikan kunir juga mempunyai nilai gizi yang baik yaitu berkadar protein 58,40% dengan kadar lemak 4,48% dengan kadar air kurang dari 6,0% (Samsundari, 2007).

2.5 Ikan Sebagai Bioindikator Pencemaran Air

Ikan sebagai salah satu biota air dapat dijadikan sebagai salah satu indikator tingkat pencemaran yang terjadi di dalam perairan. Jika di dalam tubuh ikan telah terkandung kadar logam berat yang tinggi dan melebihi batas normal yang telah ditentukan dapat sebagai indikator terjadinya suatu pencemaran dalam lingkungan (Supriyanto, 2007).

Menurut Anand (1978); Supriyanto (2007) bahwa kandungan logam berat dalam ikan erat kaitannya dengan pembuangan limbah industri di sekitar tempat hidup ikan tersebut, seperti sungai, danau, dan laut. Banyaknya logam berat yang terserap dan terdistribusi pada ikan bergantung pada bentuk senyawa dan konsentrasi polutan, aktivitas mikroorganisme, tekstur sedimen, serta jenis dan unsur ikan yang hidup di lingkungan tersebut. Salah satu bioindikator pencemaran di lingkungan perairan adalah analisis kandungan logam berat yang terakumulasi di dalam biota air di perairan tersebut (Supriyanto dkk, 2009).

2.6 Standar Mutu dan Parameter Pengujian Mutu

a. Ikan Mujair

Persyaratan standar Ikan Mujair berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7387:2009 tentang batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Baku mutu logam berat pada ikan berdasarkan SNI 7387:2009

No. Kategori Pangan	Kategori Pangan	Logam Berat	Batas maksimum (mg/kg)
09.0	Ikan dan produk perikanan	Timbal (Pb)	0,3
09.0	Ikan dan produk perikanan	Kadmium (Cd)	0,1

Untuk menentukan mutu ikan mujair segar dilakukan pengujian, beberapa cara pengujian mutu ikan mujair segar antara lain pengujian kimia yaitu uji timbal (Pb) dan kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala berdasarkan SNI 2354.5:2011tentang cara uji bagian 5 : Penentuan kadar logam berat timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada produk perikanan sebagai berikut :

1. Uji Timbal (Pb) Pada Produk Perikanan

Unsur logam Pb dilepaskan dari jaringan daging ikan mujair dengan cara digesti kering (pengabuan) pada suhu 450°C. Logam dalam abu selanjutnya diikat dalam asam klorida (HCL) 6 M dan asam nitrat (HNO₃) 0,1 M secara berurutan. Larutan yang dihasilkan selanjutnya diatomisasi menggunakan *graphite furnace*. Atom-atom unsur Pb berinteraksi dengan sinar dari lampu Pb. Interaksi tersebut berupa serapan sinar yang besarnya dapat dilihat pada tampilan (monitor) spektrofotometer serapan atom (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Jumlah serapan sinar sebanding dengan konsentrasi unsur logam Pb tersebut.

2. Uji Kadmium (Cd) Pada Produk Perikanan

Unsur logam Cd dilepaskan dari jaringan daging ikan mujair dengan cara digesti kering (pengabuan) pada suhu 450°C. Logam dalam abu selanjutnya diikat dalam asam klorida (HCL) 6M dan asam nitrat (HNO₃) 0,1 M secara berurutan. Larutan yang dihasilkan selanjutnya diatomisasi menggunakan *graphite furnace*. Atom-atom unsur Cd berintraksi dengan sinar dari lampu Cd. interaksi tersebut berupa serapan sinar yang besarnya dapat dilihat pada tampilan (monitor) spektrofotometer serapan atom (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Jumlah serapan sinar sebanding dengan konsentrasi unsur logam Cd tersebut.

b. Suhu dan pH Air Sungai

Pengukuran suhu dan pH air sungai di Tambak Oso sebagai aspek fisika kimia yang mempengaruhi kelarutan logam bera dalam air merupakan bagian dari data pendukung. Pengukuran tersebut menurut Weda (2016), sebagai berikut :

- 1) Pengukuran suhu menggunakan termometer yang dicelupkan langsung ke air sungai selama ± 15 menit sampai skala air raksa berhenti.
- 2) Pengukuran pH air sungai menggunakan pH indikator dengan mengambil sampel air sungai lalu menceupkan kertas pH selama 5 menit kemudian diamati dengan membandingkan skala pada tempat kertas pH indikator.

2.7 Bahan Ajar

Menurut Belawati (2003) bahan ajar didefinisikan sebagai suatu perangkat bahan yang memuat materi atau isi pembelajaran untuk mencapai tujuan pembelajaran. Suatu bahan ajar memuat materi atau isi pelajaran yang berupa ide, fakta, konsep, kaidah atau teori yang tercakup dalam mata pelajaran sesuai dengan disiplin ilmunya serta informasi lainnya dalam pembelajaran. Dengan demikian bahan ajar sesuai Kurikulum 2013 memuat kompetensi inti (KI), Kompetensi Dasar (KD), kegiatan pembelajaran, materi pelajaran, latihan atau tugas, evaluasi, dan umpan balik. Bahan ajar memiliki karakteristik membelajarkan siswa secara mandiri (self instructional) artinya bahan ajar tersebut mempunyai kemampuan menjelaskan yang sejelas-jelasnya karena di dalam bahan ajar termuat hal-hal yang perlu dalam pembelajaran. Menurut Lestari (2013) jenis bahan ajar antara lain:

- 1) Bahan ajar pandang (visual) terdiri atas bahan cetak (printed) seperti: handout, buku, modul, lembar kerja siswa, brosur, leaflet, foto atau gambar dan non-cetak (non-printed) seperti model atau maket.
- 2) Bahan ajar dengar (audio) seperti kaset, radio, piringan hitam dan compact disk audio.
- 3) Bahan ajar pandang dengar (audio visual) seperti video compact disk dan film.
- 4) Bahan ajar multimedia interaktif (interactive teaching material) seperti CAI (Computer Assisted Instruction), CD (compact disk), multimedia pembelajaran interaktif, dan bahan ajar berbasis web (web based learning materials).

Menurut Belawati (2003) bahan ajar harus dikembangkan sesuai dengan kaidah-kaidah pengembangan bahan ajar. Rambu-rambu yang harus dipatuhi dalam pembuatan bahan ajar adalah:

- 1) Bahan ajar harus disesuaikan dengan siswa yang sedang mengikuti proses belajar-mengajar.
- 2) Bahan ajar diharapkan mampu mengubah tingkah laku siswa.
- 3) Bahan ajar yang dikembangkan harus sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik diri.

- 4) Di dalam bahan ajar telah mencakup tujuan kegiatan pembelajaran yang spesifik.
- 5) Bahan ajar memuat materi pembelajaran secara rinci, baik untuk kegiatan dan latihan.
- 6) Terdapat evaluasi sebagai umpan balik dan alat untuk mengukur tingkat keberhasilan siswa.

Adapun peran bahan ajar bagi guru adalah sebagai berikut:

- 1) Menghemat waktu dalam belajar.
- 2) Mengubah perannya dari seorang pengajar menjadi seorang fasilitator.
- 3) Meningkatkan proses pembelajaran menjadi lebih efektif dan efisien.

Peran bahan ajar bagi siswa adalah membantu hal-hal sebagai berikut:

- 1) Belajar tanpa harus ada guru atau teman siswa yang lainnya.
- 2) Belajar sesuai dengan tempat dan waktu yang diinginkan.
- 3) Belajar sesuai dengan kecepatan masing-masing.
- 4) Belajar sesuai dengan urutan materi yang ia dikehendaki sendiri.

2.7.1 Macam-macam Bahan Ajar

Menurut Prastowo (2013) bahan ajar dibagi berdasarkan bentuk dan substansi (isi materi).

- a) Bahan Ajar menurut bentuknya dibedakan menjadi empat macam, yaitu:
 - 3) Bahan ajar cetak (printed), yaitu sejumlah bahan yang disiapkan dalam kertas, yang dapat berfungsi untuk keperluan pembelajaran atau penyampaian informasi. Contoh: handout, buku, modul, lembar kerja siswa, brosur, leaflet, wall chart, foto/gambar, model, atau maket.
 - 4) Bahan ajar dengar (audio) atau program audio, yaitu: semua sistem yang menggunakan sinyal radio secara langsung, yang dapat dimainkan atau didengar oleh seseorang atau sekelompok orang. Contoh: kaset, radio, piringan hitam, dan compact disk audio.
 - 5) Bahan ajar pandang dengar (audio visual), yaitu: segala sesuatu yang memungkinkan sinyal audio dapat dikombinasikan dengan gambar bergerak secara sekuensial. Contoh: video, compact disk, dan film.

- 6) Bahan ajar interaktif (interactive teaching materials), yaitu: kombinasi dari dua atau lebih media (audio, teks, grafik, gambar, animasi, dan video) yang oleh penggunaanya dimanipulasi atau diberi perlakuan untuk mengendalikan suatu perintah dan atau perilaku alami dari presentasi. Contoh: compact disk interaktif.

b. Bahan ajar berdasarkan substansi (isi materi)

Menurut Prastowo (2013) secara garis besar, bahan ajar (instructional materials) adalah pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang harus dipelajari siswa dalam rangka mencapai standar kompetensi dan kompetensi dasar yang telah ditentukan. Atau, dengan kata lain, materi pembelajaran dapat dibedakan menjadi tiga jenis materi, yaitu materi aspek kognitif, afektif dan psikomotorik.

2.8 Materi Pencemaran Lingkungan di SMA

Materi pencemaran lingkungan tingkat SMA merupakan materi yang dipelajari oleh siswa kelas X pada semester genap. Sesuai dengan Kurikulum 2013, materi ini memiliki Kompetensi Dasar (KD) yaitu, KD 3.10. Menganalisis data perubahan lingkungan dan dampak dari perubahan-perubahan tersebut bagi kehidupan, dan KD 4.10. Memecahkan masalah lingkungan dengan membuat desain produk daur ulang limbah dan upaya pelestarian lingkungan.

2.9 Brosur Sebagai Bahan Ajar Bagi Pelajar SMA pada Materi Pencemaran Lingkungan

Berdasarkan bentuk bahan ajar di atas, brosur termasuk ke dalam media cetak jenis information materials (berisi informasi). Sesuai dengan fungsi brosur yang dapat menyampaikan informasi penting tersebut, maka brosur dapat digunakan juga dalam menyampaikan informasi mengenai materi pembelajaran atau dengan kata lain brosur dapat digunakan sebagai bahan ajar. Selain itu, berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia, brosur merupakan media informasi tertulis mengenai suatu masalah yang disusun secara sistematis atau cetakan yang hanya terdiri atas beberapa halaman dan dilipat tanpa dijilid atau selebaran cetakan yang berisi keterangan singkat tetapi lengkap tentang perusahaan atau organisasi. Menurut Bakri (2000); Wahyuni, I, H (2015) disebutkan bahwa brosur menjadi salah satu media yang efektif dalam menyalurkan informasi ke publik

dalam hal ini adalah pelajar tingkat SMA, selain tampilannya yang menarik yang berasal dari pemilihan paduan warna dan gambar juga dikarenakan isi brosur yang padat akan memudahkan siswa dalam menangkap informasi yang ada di dalamnya.

Sebuah bahan ajar cetak paling tidak mencakup antara lain judul, petunjuk belajar (petunjuk siswa/guru), kompetensi yang akan dicapai, informasi pendukung, latihan-latihan, dan petunjuk kerja (dapat berupa Lembar Kerja/LK dan evaluasi). Demikian pula brosur, memiliki strukturnya sendiri, yang tentunya berbeda dengan bahan ajar lain. Hal tersebut diungkapkan dalam tabel berikut.

Tabel 2.4 Struktur bahan ajar

No	Komponen	Ht	Bu	Ml	LKS	Bro	Lf	Wch	F/Gb	Mo/M
1.	Judul	√	√	√	√	√	√	√	√	√
2.	Petunjuk belajar	-	-	√	√	-	-	-	-	-
3.	KD/MP	-	√	√	√	√	√	**	**	**
4.	Informasi pendukung	√	√	√	√	√	√	**	**	**
5.	Latihan	-	√	√	-	-	-	-	-	-
6.	Tugas/Langkah kerja	-	-	√	√	-	-	-	**	**
7.	Penilaian	-	√	√	√	√	√	**	**	**

Keterangan: Ht: Handout, Bu: Buku, Ml: Modul, LKS: Lembar Kegiatan Siswa, Bro: Brosur, Lf: Leaflet, Wch: Wallchart, F/Gb: Foto/Gambar, Mo/M: Model/Maket (Setyono, 2005).

Berdasarkan tabel tersebut, maka brosur terdiri atas empat komponen, yaitu:

- Judul materi yang ingin disampaikan
- Kompetensi dasar dan materi pelajaran yang disajikan secara singkat dan jelas
- Informasi yang mendukung materi pelajaran yang ingin disampaikan, dapat berupa gambar/foto, tabel, dan statistik
- Penilaian, berupa pertanyaan yang diharapkan dapat menggali rasa ingin tahu dan keterampilan berpikir siswa (Setyono, 2005).

Jika bahan ajar cetak tersusun secara baik maka bahan ajar akan mendatangkan beberapa keuntungan, demikian pula brosur. Hal tersebut dikemukakan oleh Setyono (2005) sebagai berikut.

- a. Memudahkan bagi seorang guru untuk menunjukkan kepada siswa bagian mana yang sedang dipelajari
- b. Biaya pengadaannya relatif sedikit
- c. Cepat digunakan dan dapat dipindah-pindah secara mudah
- d. Susunannya menawarkan kemudahan secara luas dan kreativitas bagi individu
- e. Relatif ringan dan dapat dibaca di semua tempat
- f. Memotivasi pembaca untuk melakukan aktivitas tertentu
- g. Dapat dinikmati sebagai sebuah dokumen yang bernilai besar
- h. Pembaca dapat mengatur tempo belajar secara mandiri.

Di samping sisi positif tersebut, brosur juga mempunyai sisi negatif atau kelemahan-kelemahan seperti yang dikemukakan oleh Hamdani (2011) sebagai berikut:

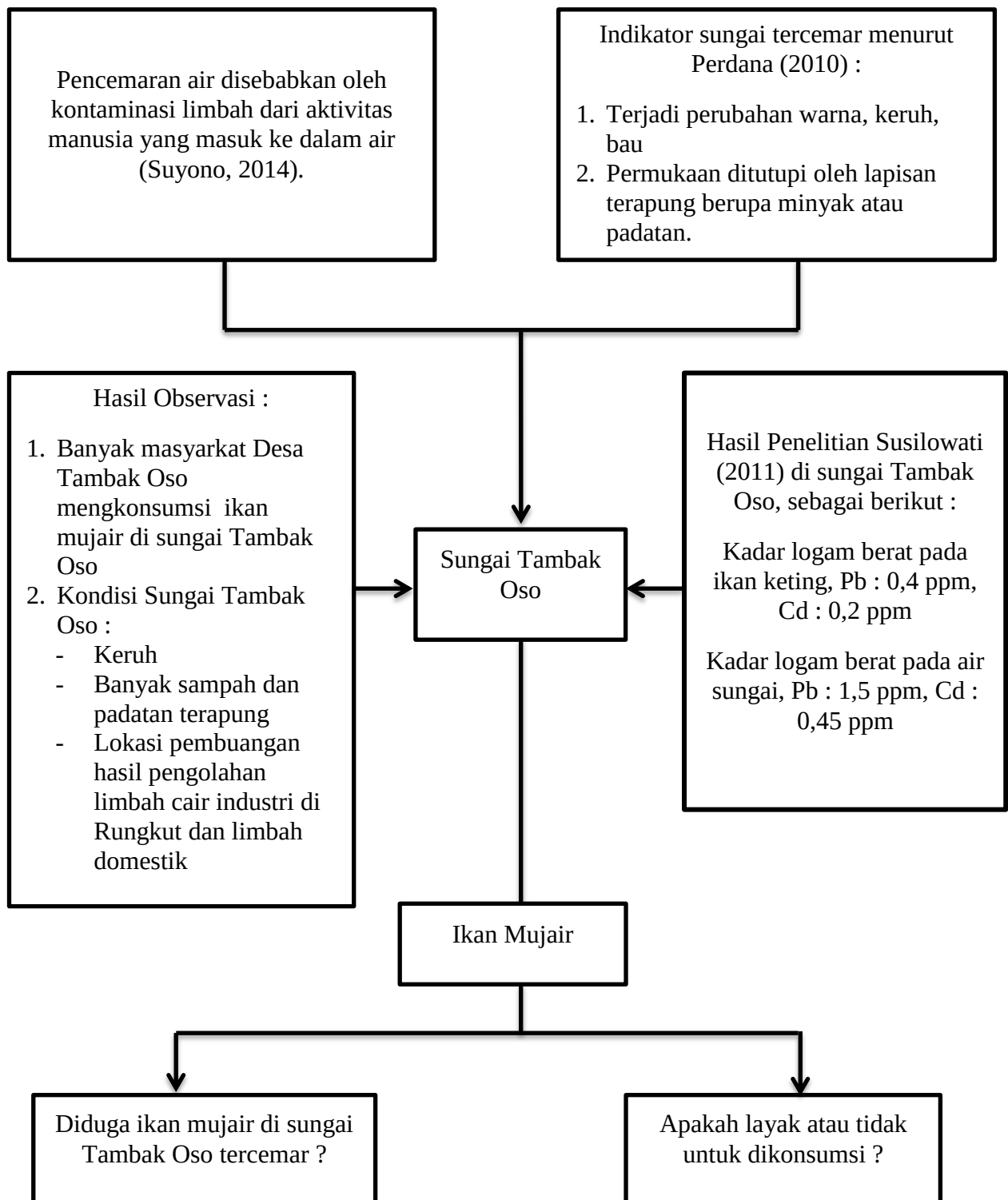
- a. Tidak mampu mempresentasikan gerakan, pemaparan materi bersifat linear, dan tidak mampu mempresentasikan kejadian secara berurutan.
- b. Sulit memberikan bimbingan kepada pembacanya yang mengalami kesulitan memahami bagian tertentu.
- c. Sulit memberikan umpan balik untuk pertanyaan yang diajukan yang memiliki banyak kemungkinan jawaban atau pertanyaan yang membutuhkan jawaban yang kompleks dan mendalam.
- d. Tidak dapat mengakomodasi peserta didik dengan kemampuan baca terbatas
- e. Memerlukan pengetahuan prasyarat agar peserta didik dapat memahami materi yang dijelaskan. Peserta didik yang tidak memenuhi asumsi pengetahuan prasyarat ini akan mengalami kesulitan dalam memahami.
- f. Cenderung digunakan sebagai hafalan.
- g. Kadangkala memuat terlalu banyak terminologi dan istilah sehingga dapat menyebabkan beban kognitif yang besar kepada peserta didik.

- h. Presentasi satu arah karena tidak interaktif sehingga cenderung digunakan dengan pasif, tanpa pemahaman yang memadai

2.10 Penelitian yang Relevan

Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti, ada beberapa penelitian yang dianggap relevan, sebagai berikut :

1. Supriyanto (2007) menganalisis cemaran logam berat Pb, Cu, dan Cd pada ikan air tawar dengan metode spektrofotometri nyala serapan atom karena pesatnya perindustrian yang kerap kali menimbulkan pencemaran terutama pada air tawar. Mahalina (2016) membuktikan bahwa ikan nila yang hidup di sungai kali tengah Sidoarjo memiliki kadar logam berat timbal yang tinggi yaitu, 0,174 ppm dan melebihi baku mutu Keputusan Menteri KLH no.51/2004, yaitu 0,008 ppm akibat dari kali tengah dijadikan sebagai lokasi pembuangan sementara lumpur lapindo.
2. Purnomo (2007) membuktikan bahwa ikan bandeng yang hidup di tambak Kecamatan Gresik memiliki kadar timbal (Pb) yang tinggi yaitu, 0,2 ppm dan melebihi baku mutu yang ditetapkan WHO yaitu, 0,1 ppm.
3. Susilowati (2011) di Sungai Tambak Oso Kecamatan Waru Kabupaten Sidoarjo yang menunjukkan bahwa kadar logam berat timbal (Pb) dan cadmium (Cd) pada ikan keting sebesar 0,4 ppm dan 0,2 ppm. Hal tersebut menjadi dasar dan pustaka bagi peneliti yang akan melakukan penelitian di sungai Tambak Oso Kecamatan Waru Kabupaten Sidoarjo.



Gambar 2.3 Bagan alur kerangka berpikir