

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pencemaran

Pencemaran adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air atau udara. Pencemaran juga bisa berarti berubahnya tatanan (komposisi) air atau udara oleh kegiatan manusia dan proses alam, sehingga kualitas air dan udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

Pencemaran logam berat terhadap alam lingkungan merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut oleh manusia. Pada awal digunakannya logam sebagai alat, belum diketahui pengaruh pencemaran pada lingkungan. Proses oksidasi pada logam yang menyebabkan perkaratan sebetulnya merupakan tanda-tanda adanya pencemaran. Tahun demi tahun ilmu kimia berkembang cepat dan mulai ditemukannya garam logam (HgNO_3 , PbNO_3 , HgCl , CdCl_2 , dll) yang digunakan oleh industri, maka tanda-tanda pencemaran lingkungan mulai timbul (Darmono, 1995).

1. Sumber Pencemaran

Suatu proses produksi dalam industri yang memerlukan suhu tinggi, seperti pertambangan batu bara, pemurnian minyak, pembangkit tenaga listrik, dengan energi minyak, dan pengecoran logam, banyak mengeluarkan limbah pencemaran, terutama pada logam-logam yang relatif mudah menguap dan larut dalam air (dalam bentuk ion), seperti logam Cr dan Mn. Ada beberapa sumber pencemar yang mempengaruhi kualitas sungai terhadap mineral/logam yaitu:

1. Erosi dari batuan karang.
2. Presipitasi dan evaporasi dari dan ke udara.
3. Larutan air yang membawa mineral dari daratan ke air permukaan (Darmono, 2001).

a. Logam Cr

Krom (Cr) sebagai salah satu logam berat berpotensi sebagai pencemar akibat kegiatan pewarnaan kain pada industri tekstil, cat, penyamakan kulit, pelapisan logam, baterai atau industri krom (Ackerley, *et al*, 2004).

Menurut Darmono (1995) penggunaan logam kromium dalam industri antara lain

- 1). Logam kromium (Cr) digunakan sebagai pelapis baja atau logam. Kromium merupakan bahan paduan baja yang menyebabkan baja bersifat kuat dan keras.
- 2). Kromium (Cr) digunakan dalam industri penyamakan kulit. Senyawa $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ bereaksi dengan kolagen menjadikan kulit bersifat liat, lentur dan tahan terhadap kerusakan biologis.

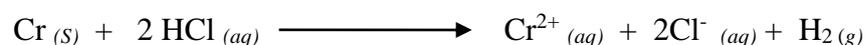
- 3). Logam kromium (Cr) dimanfaatkan sebagai bahan pelapis (*plating*) pada bermacam-macam peralatan, mulai dari peralatan rumah tangga sampai peralatan mobil. Bahan paduan *steinless steel* (campuran Cr dengan Ni) digunakan pada industri pembuatan alat dapur.
- 4). Senyawa CrO_3 yang berwarna coklat gelap, bersifat konduktor listrik yang tinggi dan bersifat magnetik, digunakan pada pita rekaman.
- 5). Senyawa Na_2CrO_7 sebagai oksidan dalam industri kimia.
- 6). Persenyawaan kromium (senyawa-senyawa kromat dan dikromat) dimanfaatkan dalam industri tekstil untuk pencelupan dan zat warna.

Adapun sifat fisik dan kimia Kromium (Cr) disajikan dalam Tabel 1:

Tabel 1. Sifat Fisik Logam Kromium (Cr)

Nomor atom	24
Densitas (g/cm^3)	13,11
Titik lebur ($^{\circ}\text{C}$)	1765
Titik didih ($^{\circ}\text{C}$)	1810
Kalor fusi (kJ/mol)	4,90
Kalor penguapan (kJ/mol)	190,5
Kapasitas panas pada 25°C (J/mol.K)	21,650

Logam kromium (Cr) pertama kali ditemukan oleh *Vauquelin* (1797). Umumnya logam di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan dengan unsur lain dan sangat jarang ditemukan dalam bentuk unsur tunggal. Logam kromium (Cr) di alam ditemukan dalam bentuk *chromite* ($\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$). Kromium adalah logam yang berwarna putih, tak begitu liat, dan tak dapat ditempa. Jika tidak terkena udara, akan terbentuk ion-ion kromium.



Logam kromium tidak dapat teroksidasi oleh udara yang lembab dan proses

pemanasan cairan. Logam kromium mudah larut dalam HCl, H₂SO₄, dan asam perklorat. Logam kromium (Cr) mempunyai tingkat oksidasi yang berbeda-beda, ion kromium yang telah membentuk senyawa, mempunyai sifat yang berbeda sesuai dengan tingkat oksidasinya (Palar, 2004).

b. Logam Mn

Mangan adalah logam berwarna putih keabu-abuan. Mangan termasuk logam berat dan sangat rapuh tetapi mudah teroksidasi. Logam murni tak bereaksi dengan air tetapi bereaksi dengan uap air, larut dalam asam, dengan HNO₃ yang sangat encer melepaskan H₂. Logam dan ion mangan bersifat paramagnetik. Hal ini dapat dilihat dari orbital d yang terisi penuh pada konfigurasi elektron (Svehla, 1985).

Menurut Effendi, penggunaan logam Mn (mangan) dalam industri antara lain:

- 1). Mangan digunakan dalam industri besi dan baja. Mangan digunakan sebagai campuran pembuatan ferromangan (70 %-80 % Mn), besimangan (13 % Mn) dan manganin yaitu campuran antara tembaga, mangan dan nikel. Mangan digunakan untuk mencegah korosi pada pembuatan baja. Campuran logam (*Alloy*) memiliki kekuatan magnetis yang banyak digunakan pada mesin jet dan turbin gas mesin/motor, sebagai bahan baja tahan-karat dan baja magnet.
- 2). Mangan digunakan sebagai bahan pembuat isolator.
- 3). Mangan digunakan untuk pembuatan baterai. Senyawa mangan dioksida (MnO₂) digunakan sebagai sel kering baterai.

- 4). Mangan digunakan untuk pewarnaan kaca dan dalam konsentrasi tinggi untuk pewarnaan batu permata.
- 5). Senyawa oksida mangan digunakan untuk pembuatan oksigen, klorin, dan pengeringan cat hitam. Senyawa permanganat adalah oksidator yang kuat dan digunakan dalam analisis kuantitatif pengobatan.

Berikut ini sifat fisik dan kimia Mangan (Mn) disajikan dalam Tabel 2:

Tabel 2. Sifat Fisik Logam Mangan (Mn)

Nomor atom	25
Densitas (g/cm ³)	7.21
Titik lebur (K)	1519
Titik didih (K)	2334
Kalor fusi (kJ/mol)	12.91
Kalor penguapan (kJ/mol)	221
Kapasitas panas pada 25 ⁰ C (J/mol.K)	26.32
Energi ionisasi (kJ/mol)	1.55

2. Dampak Pencemaran

Kehadiran ion logam-logam berat seperti kromium (Cr) dan mangan (Mn) dalam perairan dengan konsentrasi yang relatif tinggi, dapat meracuni kehidupan organisme perairan, sedangkan dalam konsentrasi yang relatif rendah, akan diserap oleh organisme perairan tingkat rendah, seperti plankton yang kemudian terakumulasi di dalam plankton (Forstner and Wittman, 1983). Apabila logam berat tersebut terakumulasi dalam tubuh manusia, dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang serius seperti gangguan syaraf otak pada anak-anak, gangguan ginjal yang akut, dan dapat menyebabkan kematian (Palar, 1994).

Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dapat dibagi dalam dua jenis.

Jenis pertama adalah logam berat esensial, dimana keberadaannya dalam jumlah

tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain. Logam berat ini dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Lebih jauh lagi, logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia. Jalur masuknya adalah melalui kulit, pernapasan dan pencernaan (Johnston, 1976).

Logam berat dapat menimbulkan efek-efek khusus dalam makhluk hidup. Menurut Palar (1994), secara umum bisa dikatakan bahwa semua logam berat dapat menjadi bahan pencemar yang akan meracuni tubuh makhluk hidup. Sebagai contoh logam air raksa, kromium, timbal, dan kadmium. Umumnya logam berat pada kadar rendah sudah bersifat toksik pada tumbuhan, hewan, dan manusia. Logam berat ini akan terakumulasi di dalam tubuh disalurkan sepanjang perjalanan rantai makanan (Palar, 2004).

Dalam kondisi normal, beberapa jenis logam ringan maupun logam berat berbeda dalam jumlah sedikit di dalam air. Menurut Darmono (1995) beberapa logam ringan tersebut bersifat esensial, misalnya kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) yang berguna untuk pembentukan kutikula atau sisik pada ikan atau udang. Logam berat seperti tembaga (Cu), zink (Zn), dan mangan (Mn) sangat berguna

dalam pembentukan hemosianin dalam sistem darah dan enzimatis pada hewan air tersebut.

Menurut Nybakken (1992), logam berat merupakan salah satu bahan kimia beracun yang dapat memasuki ekosistem bahari. Bahan-bahan kimia ini seringkali memasuki rantai makanan di laut dan berpengaruh pada organisme laut. Keadaan tersebut menyebabkan sulit sekali untuk memperkecil pengaruh bahan kimia tersebut, terutama apabila pengaruhnya terulang kembali pada tahun-tahun berikutnya. Unsur-unsur logam berat biasanya erat kaitannya dengan masalah pencemaran dan toksisitas. Pencemaran yang dapat menghancurkan tatanan lingkungan hidup, biasanya berasal dari limbah-limbah yang sangat berbahaya dalam arti memiliki daya racun (toksisitas) yang tinggi. Limbah industri merupakan salah satu sumber pencemaran logam berat yang potensial bagi perairan. Pembuangan limbah industri secara terus menerus tidak hanya mencemari lingkungan perairan tetapi menyebabkan terkumpulnya logam berat dalam sedimen dan biota perairan.

a. Dampak logam Cr

Akumulasi kromium dalam tubuh manusia dapat mengakibatkan kerusakan dalam sistem organ tubuh. Efek toksisitas kromium (Cr) dapat merusak serta mengiritasi hidung, paru-paru, lambung, dan usus. Mengonsumsi makanan berbahan kromium dalam jumlah yang sangat besar, menyebabkan gangguan perut, bisul, kejang, ginjal, kerusakan hati, dan bahkan kematian (Palar, 1994).

Menurut beberapa lembaga, batas konsentrasi kromium yang tidak membahayakan bagi kesehatan manusia adalah :

- 1). EPA (*Environmental Protection Agency*) menetapkan batas aman konsentrasi kromium dalam air minum adalah 1 mg/L untuk konsumsi air minum selama 10 hari.
- 2). OSHA (*The Occupational Health and Safety Administration*) menetapkan batas aman bagi pekerja yang terpapar dengan kromium secara langsung adalah 0,005 mg/m³ untuk kromium (VI), 0,5 mg/m³ untuk kromium (III) dan 1 mg/m³ untuk kromium (0) selama 8 jam kerja sehari dan 40 jam kerja selama 1 minggu.
- 3). FDA menetapkan batas aman konsentrasi maksimal kromium yang digunakan dalam botol air minum adalah 1 mg/L (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)*, 2008).

Melalui rantai makanan krom dapat terdeposit dalam bagian tubuh makhluk hidup yang pada suatu ukuran tertentu dapat menyebabkan racun. Umumnya krom di alam berada pada valensi 3 (Cr³⁺) dan valensi 6 (Cr⁶⁺). Cr⁶⁺ bersifat toksik dibandingkan dengan Cr³⁺. Toksisitas Cr⁶⁺ diakibatkan karena sifatnya yang berdaya larut dan mobilitas tinggi di lingkungan (Palar, 1994).

b. Dampak Logam Mn

Mangan adalah kation logam yang memiliki karakteristik kimia serupa dengan besi. Mangan berada dalam bentuk manganous (Mn²⁺) dan manganik (Mn⁴⁺). Pada perairan dengan kondisi anaerob akibat dekomposisi bahan organik dengan

kadar tinggi, Mn^{4+} pada senyawa mangan dioksida mengalami reduksi menjadi Mn^{2+} yang bersifat larut. Mangan merupakan nutrisi esensial bagi tumbuhan dan hewan. Logam ini berperan dalam pertumbuhan dan proses metabolisme, serta merupakan salah satu komponen penting pada sistem enzim. Defisiensi mangan dapat mengakibatkan pertumbuhan terhambat, serta sistem saraf dan proses reproduksi terganggu (Effendi, 2003).

Toksisitas mangan sudah dapat terlihat pada konsentrasi rendah. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2000, diketahui bahwa konsentrasi mangan yang dianjurkan dalam air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari adalah kurang dari 0,5 mg/L. Terhirupnya logam mangan secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem saraf pusat. Efek toksisitas logam mangan (Mn) antara lain gangguan kejiwaan, perlakuan kasar, kerusakan saraf, gejala kelainan otak serta tingkah laku yang tidak normal (Palar, 1994).

Menurut beberapa lembaga, batas konsentrasi mangan yang tidak membahayakan bagi kesehatan manusia adalah :

- 1). EPA (*Environmental Protection Agency*) menetapkan batas aman konsentrasi mangan dalam air minum adalah 0,5 mg/L.
- 2). OSHA (*The Occupational Health and Safety Administration*) menetapkan batas aman bagi pekerja yang terpapar dengan mangan secara langsung adalah 0,05 mg/m³ selama 8 jam kerja sehari dan 40 jam kerja selama 1 minggu (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)*, 2008).

3. Sebaran Pencemaran

Pencemaran logam berat dapat terjadi pada daerah lingkungan yang bermacam-macam dan ini dapat dibagi menjadi tiga golongan, yaitu udara, tanah/daratan dan air/lautan. Pencemaran udara biasanya terjadi pada proses-proses industri yang menggunakan suhu tinggi. Pencemaran logam berat pada tanah daratan sangat erat hubungannya dengan pencemaran udara dan air. Partikel logam berat yang beterbangan di udara akan terbawa oleh air hujan yang membasahi tanah sehingga timbul pencemaran tanah (Darmono, 1995).

a. Pencemaran Air

Pencemaran air menurut Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Nomor: KEP-02/MENKLH/1988 tentang Baku Mutu Lingkungan adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain kedalam air dan berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air menjadi berkurang atau sudah tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Pencemaran air berdampak luas, misalnya dapat meracuni sumber air minum, meracuni makanan hewan, ketidakseimbangan ekosistem sungai dan danau, pengrusakan hutan akibat hujan asam, dan sebagainya.

Logam berat di perairan paling banyak berasal dari limbah industri seperti industri pengolahan logam dan pestisida (Hutagalung, 1991). Masuknya logam kromium ke dalam perairan bisa melalui dua cara, yaitu secara alamiah dan non alamiah. Secara alamiah, kromium bisa masuk ke perairan karena disebabkan oleh

beberapa macam faktor fisika, seperti : erosi yang terjadi pada batuan mineral, adanya debu-debu dan partikel-partikel kromium di udara yang dibawa turun oleh air hujan. Secara non alamiah biasanya merupakan dampak atau efek dari aktifitas yang dilakukan manusia seperti limbah atau buangan industri serta buangan rumah tangga (Nanik, 1998).

b. Faktor-faktor yang mempengaruhi sebaran logam berat di perairan

Tiap organisme perairan mempunyai batas toleransi yang berbeda terhadap perubahan suhu perairan bagi kehidupan dan pertumbuhan organisme perairan. Oleh karena itu suhu merupakan salah satu faktor fisika perairan yang sangat penting bagi kehidupan organisme atau biota perairan. menjelaskan bahwa suhu merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam mengatur proses kehidupan dan penyebaran organisme. Kaidah umum menyebutkan bahwa reaksi kimia dan biologi air (proses fisiologis) akan meningkat 2 kali lipat pada kenaikan temperatur 10°C , selain itu suhu juga berpengaruh terhadap penyebaran dan komposisi organisme. Kisaran suhu yang baik bagi kehidupan organisme perairan adalah antara $18\text{-}300^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan hal tersebut, maka suhu perairan dilokasi penelitian sangat mendukung kehidupan organisme yang hidup di dalamnya.

Parameter pH sangat penting untuk kualitas air karena mengontrol tipe dan laju kecepatan reaksi beberapa bahan dalam air. Selain itu, ikan dan makhluk hidup lainnya pada selang pH tertentu, sehingga dengan diketahuinya nilai pH, kita dapat mengetahui apakah air tersebut sesuai atau tidak untuk menunjang kehidupan mereka. Ada 2 fungsi dari pH yaitu sebagai faktor pembatas, setiap organisme mempunyai toleransi yang berbeda terhadap pH

maksimal, minimal serta optimal dan sebagai indeks keadaan lingkungan. Nilai pH air yang normal sekitar netral yaitu antara 6-8, sedangkan pH air yang tercemar beragam tergantung dari jenis buangnya. Batas organisme terhadap pH bervariasi tergantung pada suhu air, oksigen terlarut, adanya berbagai anion dan kation serta jenis organisme. Dengan demikian pH perairan di lokasi penelitian masih dapat mendukung kehidupan yang ada di dalamnya (Nybakken, 1992).

Oksigen terlarut (DO) adalah jumlah mg/l gas oksigen yang terlarut dalam air. DO berasal dari hasil fotosintesa dan difusi dari udara diperlukan untuk pernafasan makhluk hidup dan pembusukan bahan-bahan organik yang terdapat dalam perairan (Riani, 2004). Kekurangan oksigen atau karbondioksida yang berlebih di perairan ditunjukkan dengan gejala-gejala yang sama yaitu respirasi yang tidak beraturan dan ikan banyak berenang di permukaan air. Konsentrasi minimum yang masih dapat diterima oleh sebagian besar spesies ikan untuk dapat hidup dengan baik adalah 5 ppm dan tidak boleh kurang dari 4 ppm. Sedangkan untuk telur dan larva oksigen terlarut yang dibutuhkan minimum 6 ppm (Widiyono, 1999). Oksigen diperlukan ikan untuk metabolismenya sehingga menghasilkan berbagai aktifitas misalnya untuk pergerakan, pertumbuhan, reproduksi. Kekurangan oksigen dapat menyebabkan gangguan pernafasan dan selanjutnya ikan akan mati (hipoksia dan anoksia).

Biological Oxygen Demand (BOD) menunjukkan jumlah oksigen dalam satuan ppm yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk memecahkan bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air. Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk atau industri.

Penguraian zat organik adalah peristiwa alamiah, apabila suatu badan air dicemari oleh zat organik, bakteri dapat menghabiskan oksigen terlarut dalam air selama proses oksidasi tersebut yang bisa mengakibatkan kematian ikan-ikan dalam air dan dapat menimbulkan bau busuk pada air tersebut.

Chemical Oxygen Demand (COD) menunjukkan jumlah oksigen total yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (biodegradable) maupun yang sukar didegradasi secara biologis (non-biodegradable). Sedangkan BOD hanya menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikrobia aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbondioksida dan air. Oleh karena itu nilai COD pada umumnya lebih tinggi daripada nilai BOD. Nilai COD dapat digunakan sebagai ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut (DO) di dalam air (Sasongko, 1990).

B. Muara Sungai Way Kuala



Gambar 1. Letak Muara Sungai Way Kuala (Google Maps).

Way Kuala merupakan anak sungai Way Garuntang yang berhulu di Gunung Betung yaitu sebuah gunung di sebelah barat Bandar Lampung dan bermuara di Teluk Lampung. Sungai ini mempunyai panjang 2,3 Km, serta debit yang kecil. Karena itu, pada musim kemarau batang sungai cenderung kering, sementara saat musim hujan air mengalir dengan debit kecil (Udo, 2009).

Sungai sangat penting dalam pengelolaan wilayah pesisir karena fungsinya sebagai transportasi, sumber air bagi masyarakat, perikanan, pemeliharaan hidrologi rawa dan lahan basah. Berdasarkan identifikasi yang dilakukan oleh Wiryawan dkk (2002), daerah aliran sungai (DAS) Way Kuala merupakan daerah yang paling banyak dikelilingi oleh sektor industri, setidaknya terdapat 22 macam industri. Beberapa jenis industri di sekitar sungai Way Kuala adalah industri konstruksi (PT Darma Putra Konstruksi, PT Jaya Persada Konstruksi, PT Husada Baja), industri kimia (PT Golden Sari, PT Garuntang), industri pergudangan dan

peti kemas (PT Inti Sentosa Alam Bahtera). Selain dikelilingi oleh wilayah industri, DAS Way Kuala merupakan daerah pemukiman padat penduduk yang menghasilkan limbah rumah tangga dan domestik.

Daerah hulu sungai berada di wilayah bagian barat, wilayah Kota Bandar Lampung dan daerah hilir sungai berada di wilayah bagian selatan Kota Bandar Lampung yaitu pada dataran pantai yang berada di wilayah Kecamatan Panjang, Telukbetung Selatan dan Telukbetung Barat. Berdasarkan hasil Studi Penentuan Kelas Sungai yang dilakukan oleh Bapedalda Kota Bandar Lampung tahun 2005 terhadap beberapa sungai yang ada di Kota Bandar Lampung diketahui bahwa kualitas perairan sungai yang ada masuk dalam kategori kelas II, III dan IV. Sedangkan untuk kelas I tidak ada yang memenuhi syarat. Sungai Way Kuala masuk kedalam kategori kelas II.

Faktor penyebab rendahnya kualitas perairan sungai disebabkan oleh :

- 1). Daya tampung sungai, karakteristik sungai di Kota Bandar Lampung yang merupakan sungai kecil dengan debit yang kecil, menyebabkan daya tampung beban pencemarannya juga rendah. Sungai-sungai tersebut sangat rentan terhadap pencemaran air. Sedikit saja polutan masuk ke dalam sungai kemungkinan sudah dapat mengakibatkan pencemaran;
- 2). Kondisi hulu sungai, eksploitasi daerah hulu sungai oleh kegiatan pertambangan, pembangunan perumahan, budidaya tanaman semusim menyebabkan tingkat erosi meningkat dan akhirnya mempertinggi kandungan TSS di sungai;

- 3). Limbah cair domestik, belum adanya sistem pembuangan air limbah yang terpisah dari saluran air hujan dan belum adanya IPAL domestik terpadu menyebabkan air limbah domestik/rumah tangga yang jumlahnya besar (70-80% penggunaan air bersih) bercampur dengan air sungai yang debitnya kecil sehingga menyebabkan pencemaran;
- 4). Limbah cair usaha/kegiatan lain, belum efektifnya pengolahan limbah dari usaha/kegiatan seperti industri, hotel, rumah sakit, restoran juga memberikan kontribusi terhadap pencemaran sungai;
- 5). Sampah, rendahnya kesadaran masyarakat yang masih menganggap sungai sebagai tempat pembuangan sampah disamping menimbulkan menurunnya estetika juga menyebabkan peningkatan beban pencemaran pada sungai (Temenggung, 2008).

Pembuangan limbah industri secara terus menerus tidak hanya mencemari lingkungan perairan tetapi menyebabkan terkumpulnya logam berat dalam sedimen dan biota perairan (Darmono, 1995).

C. Ikan

Ikan dapat digunakan sebagai bioindikator pencemaran. Untuk menaksir efek toksikologis dari beberapa polutan kimia dalam lingkungan dapat diuji dengan menggunakan spesies yang mewakili lingkungan yang ada di perairan tersebut. Spesies yang diuji harus dipilih atas dasar kesamaan biokemis dan fisiologis dari spesies dimana hasil percobaan digunakan (Price, 1879).

Ikan yang termasuk Kelas teleostei adalah hewan air yang selalu bergerak. Kemampuan gerak yang cepat inilah yang menyebabkan ikan tidak banyak terpengaruh pada kondisi pencemaran logam seperti makhluk lainnya (alga, udang, dan kerang). Ikan-ikan yang hidup di laut lepas jarang dipakai sebagai indikator pencemaran logam berat, tetapi pada lokasi tertentu yang daerah hidupnya terbatas seperti di sungai, danau (ikan air tawar), dan di teluk (air laut), ikan-ikan itu akan menderita pada kondisi tercemar. Ikan yang hidup di laut lepas mempunyai kebiasaan bermigrasi dari satu tempat ke tempat lain untuk menghindarkan diri dari pengaruh pencemaran ini. Banyak penelitian mengenai toksisitas logam pada ikan yang hidup di air tawar dan di air laut (Darmono, 1995).

Karakteristik ideal sebagai indikator biologis ekosistem perairan adalah sebagai berikut:

1. Biota tersebut harus cukup mengakumulasi logam berat tanpa menyebabkan kematian
2. Habitat biota berasal dari daerah yang teliti
3. Kelimpahan setiap waktu pada lokasi yang akan diteliti
4. Mempunyai masa hidup lebih dari setahun (cukup lama) untuk melihat pengaruh variasi perubahan musim
5. Mempunyai ukuran tubuh yang memungkinkan untuk dianalisa terutama pada jaringan (Sastrawijaya, 1991).

Dalam ekosistem alami perairan, hampir dapat dipastikan bahwa kematian sejenis ikan tidak selalu karena faktor tunggal. Faktor-faktor yang dimaksud adalah :

1. Fenomena sinergis, yaitu kombinasi dari dua zat atau lebih yang bersifat memperkuat daya racun.
2. Fenomena antagonis, yaitu kombinasi antara dua zat atau lebih yang saling menetralkan, sehingga zat-zat yang tadinya beracun berhasil dikurangi dinetralkan daya racunya sehingga tidak membahayakan.
3. Jenis ikan dan sifat polutan, yang tertarik dengan daya tahan ikan serta adaptasinya terhadap lingkungan, serta sifat polutan itu sendiri (Sudarmadi, 1993).

Pemeriksaan fisiologis ikan untuk melihat paparan logam berat:

1. Pemeriksaan Insang

Pada penelitian akan dilakukan pemeriksaan insang pada ikan. Pemeriksaan insang dilakukan karena insang merupakan organ tubuh paling lembut diantara struktur tubuh teleostei dan alasan utama bagi berlangsungnya proses pernapasan (Lagler, 1977). Insang selain sebagai alat pernafasan ikan, juga digunakan sebagai pengatur tekanan antara air dan dalam tubuh ikan. Oleh sebab itu insang merupakan organ yang penting pada ikan. Sebagian besar kematian ikan yang disebabkan oleh bahan pencemar terjadi karena kerusakan pada bagian insang dan organ-organ yang berhubungan dengan insang. Karena letaknya di luar dan berhubungan langsung dengan air sebagai media hidupnya, maka organ inilah yang pertama kali mendapat pengaruh apabila lingkungan air tercemar oleh bahan pencemar baik yang terlarut maupun yang tersuspensi (Sandi, 1994).

Insang merupakan organ yang langsung berhubungan dengan air, sehingga apabila air mengandung polutan akan mengakibatkan kerusakan pada organ ini

dan organ-organ yang berhubungan dengan insang. Hal inilah yang menyebabkan ikan mati di perairan. Pada umumnya ikan teleostei mempunyai lima pasang lengkung insang, yaitu empat pasang lamella primer dan satu pasang lamella sekunder. Lamella primer bentuknya tipis, berupa dua garis melengkung ke belakang dan saling berhubungan. Lamella sekunder berbentuk setengah lingkaran mengelilingi semua bagian dari lamella primer (Takashima dan Hibiya, 1995).

2. Pemeriksaan Kandungan Logam Berat di Organ Tubuh

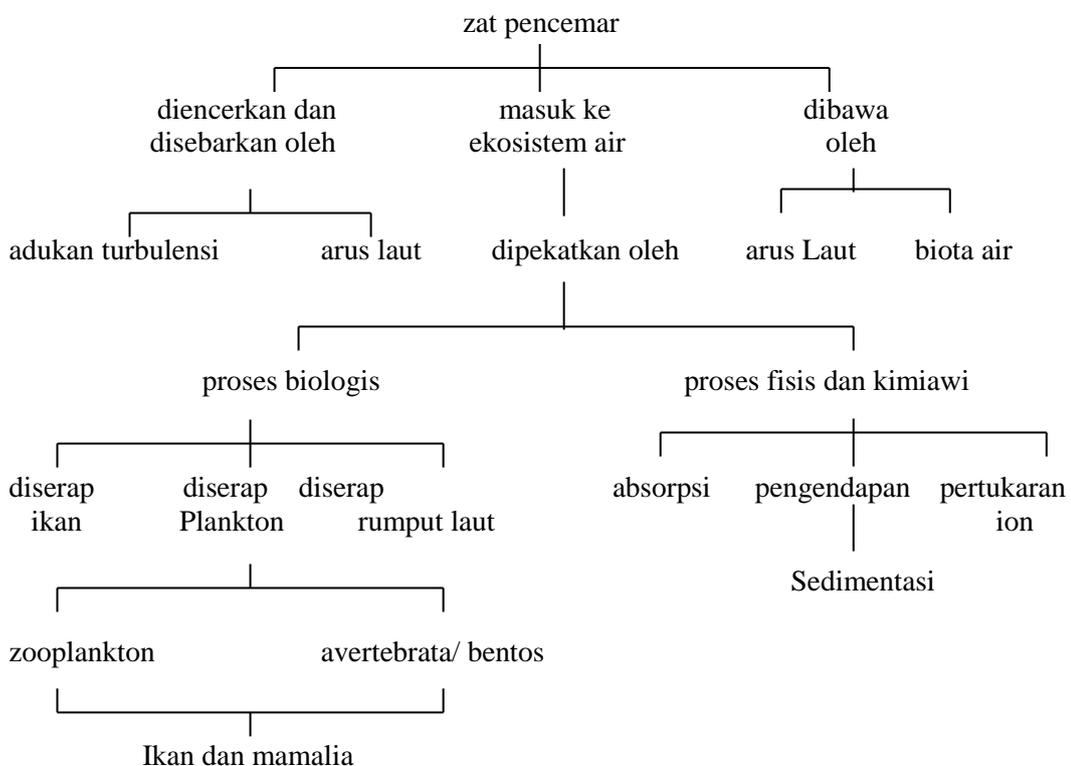
Selain insang yang merupakan organ yang paling penting peka terhadap perubahan perairan seperti yang telah diuraikan oleh beberapa ahli tentang insang di atas, daging merupakan tempat deposit makanan ditimbun oleh ikan termasuk logam berat. Timbunan logam berat yang terjadi dikarenakan ikan mengkonsumsi makanan yang terdapat di dalam air yang merupakan limbah dari proses pengolahan hasil industri. Konsumsi makanan dari hasil limbah cair dan terjadi kontak terus menerus tersebut menyebabkan terjadinya efek akumulasi bahan pencemar terhadap organ tubuh dan daging ikan. Jika air limbah yang ada mengandung logam berat, maka akan terjadi akumulasi logam berat pada organ tubuh ikan (Klein, 1983).

D. Proses Masuknya Logam Berat dalam Tubuh

Menurut Darmono (1995) logam berat dapat masuk ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup melalui beberapa jalan, yaitu: saluran pernafasan, pencernaan dan penetrasi melalui kulit. Di dalam tubuh hewan logam diabsorpsi darah, berikatan

dengan protein darah yang kemudian didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh. Akumulasi logam yang tertinggi biasanya dalam detoksikasi (hati) dan ekskresi (ginjal).

Unsur-unsur logam berat tersebut biasanya erat kaitannya dengan masalah pencemaran dan toksisitas. Pencemaran yang dapat menghancurkan tatanan lingkungan hidup, biasanya berasal dari limbah-limbah yang sangat berbahaya dalam arti memiliki daya racun (toksisitas) yang tinggi. Limbah industri merupakan salah satu sumber pencemaran logam berat yang potensial bagi perairan. Pembuangan limbah industri secara terus menerus tidak hanya mencemari lingkungan perairan tetapi menyebabkan terkumpulnya logam berat dalam sedimen dan biota perairan, seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema proses alami yang terjadi jika polutan masuk ke lingkungan laut (EPA, 1973).

Bahan Pencemar (racun) masuk ke tubuh organisme atau ikan melalui proses absorpsi. Absorpsi merupakan proses perpindahan racun dari tempat pemejanan atau tempat absorpsinya ke dalam sirkulasi darah. Absorpsi, distribusi dan ekskresi bahan pencemar tidak dapat terjadi tanpa transpor melintasi membran. Proses transportasi dapat berlangsung dengan 2 cara: transpor pasif (yaitu melalui proses difusi) dan transpor aktif (yaitu dengan sistem transpor khusus, dalam hal ini zat lazimnya terikat pada molekul pengemban). Bahan pencemar dapat masuk ke dalam tubuh ikan melalui tiga cara yaitu melalui rantai makanan, insang dan difusi permukaan kulit (Hutagalung, 1984).

Menurut Bryan (1976), beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan racun logam berat terhadap ikan dan organisme air lainnya, yaitu

- 1). Bentuk ikatan kimia dari logam yang terlarut dalam air.
- 2). Pengaruh interaksi antara logam dan jenis racun lainnya.
- 3). Pengaruh lingkungan seperti temperatur, kadar garam, pengaruh pH atau kadar oksigen dalam air.
- 4). Kondisi hewan, fase siklus hidup (telur, larva, dewasa), besarnya organisme, jenis kelamin, dan kecukupan kebutuhan nutrisi.
- 5). Kemampuan hewan untuk menghindar dari kondisi buruk (polusi), misalnya lari atau pindah tempat.
- 6). Kemampuan hewan untuk beradaptasi terhadap racun, misalnya detoksifikasi.

Untuk ikan, insang merupakan jalan masuk yang penting. Permukaan insang lebih dari 90% seluruh luas badan. Sehingga dengan masuknya logam berat ke dalam insang dapat menyebabkan keracunan, karena bereaksinya kation logam

tersebut dengan fraksi tertentu dari lendir insang. Kondisi ini menyebabkan proses metabolisme dari insang menjadi terganggu. Lendir yang berfungsi sebagai pelindung diproduksi lebih banyak sehingga terjadi penumpukan lendir. Hal ini akan memperlambat ekspansi pada insang dan pada akhirnya menyebabkan kematian (Sudarmadi, 1993).

E. Klasifikasi Ikan Kiper

Hewan uji yang digunakan sebagai bioindikator pencemaran perairan sungai adalah ikan Kiper (*Scatophagus argus*). Ikan Kiper ini dipilih sebagai bioindikator karena hampir disepanjang aliran muara sungai Way Kuala ini didapatkan spesies ini. Adapun klasifikasi ikan Kiper sebagai berikut:

Kerajaan	: Animalia
Filum	: Chordata
Kelas	: Actinopterygii
Ordo	: Perciformes
Keluarga	: Scatophagidae
Genus	: <i>Scatophagus</i>
Spesies	: <i>Scatophagus argus</i>

Ikan Kiper (*Scatophagus argus*) merupakan ikan yang hidup di muara sungai. Pakan alami ikan ini adalah alga biru, serasah, phytoplankton, zooplankton dan cacing (Kuncoro, 2009). Adapun gambar ikan Kiper berikut ini:



Gambar 3. Sampel Ikan Kiper (*Scatophagus argus*)

F. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

1. Teori Spektrofotometri Serapan Atom

Prinsip dasar Spektrofotometri serapan atom adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel. Spektrofotometri serapan atom merupakan metode yang sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah (Khopkar, 1990). Teknik ini adalah teknik yang paling umum dipakai untuk analisis unsur. Cara kerja Spektroskopi serapan atom ini adalah berdasarkan atas penguapan larutan sampel, kemudian logam yang terkandung di dalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut mengabsorpsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan dari lampu katoda (*Hallow Cathode Lamp*) yang mengandung unsur yang akan ditentukan. Banyaknya penyerapan radiasi kemudian diukur pada panjang gelombang tertentu menurut jenis logamnya (Darmono, 1995). Jika radiasi elektromagnetik dikenakan pada suatu atom, maka akan terjadi eksitasi elektron dari tingkat dasar ke tingkat tereksitasi. Setiap panjang gelombang memiliki energi yang spesifik untuk dapat tereksitasi ke tingkat yang

lebih tinggi. Besarnya energi dari tiap panjang gelombang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

Dimana E = Energi (Joule)

h = Tetapan Planck ($6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s)

C = Kecepatan Cahaya ($3 \cdot 10^8$ m/s), dan

λ = Panjang Gelombang (nm)

Larutan sampel disemprotkan ke suatu nyala dalam bentuk *aerosol* dan unsur-unsur di dalam sampel diubah menjadi uap atom sehingga nyala mengandung atom unsur-unsur yang dianalisis. Beberapa diantara atom akan tereksitasi secara termal oleh nyala, tetapi kebanyakan atom tetap tinggal sebagai atom netral dalam keadaan dasar (*ground state*). Atom-atom *ground state* ini kemudian menyerap radiasi yang diberikan oleh sumber radiasi yang terbuat oleh unsur-unsur yang bersangkutan. Panjang gelombang yang dihasilkan oleh sumber radiasi adalah sama dengan panjang gelombang yang diabsorpsi oleh atom dalam nyala (Azis, 2007).

Absorpsi ini mengikuti hukum Lambert-Beer, absorbansi berbanding lurus dengan panjang nyala yang dilalui sinar dan konsentrasi uap dalam nyala kedua variabel ini sulit untuk ditentukan tetapi panjang nyala dapat dibuat konstan sehingga absorbansi hanya berbanding langsung dengan konsentrasi analit dalam larutan sampel (Azis, 2007).

2. Analisis Kuantitatif

Pada dasarnya hubungan antara absorpsi atom dengan konsentrasi di dalam metode SSA dapat dinyatakan dengan hukum Lambert-Beer, yaitu secara matematik persamaannya adalah sebagai berikut:

$$I = I_0 e^{-abc}$$

$$\log\left(\frac{I_0}{I}\right) = a \cdot b \cdot c$$

$$A = a \cdot b \cdot c$$

Keterangan:

I_0 : Interaksi cahaya yang datang (mula-mula)

I : Interaksi cahaya yang ditransmisikan

a : Absorptivitas, yang besarnya sama untuk sistem atau larutan yang sama (g/L)

b : Panjang jalan cahaya atau tebalnya medium penyerap yang besarnya tetap untuk alat yang sama (cm)

c : Konsentrasi atom yang mengabsorpsi

A : absorbansi = $\log I_0/I$

Dari persamaan di atas, nilai absorbansi sebanding dengan konsentrasi untuk panjang jalan penyerapan dan panjang gelombang tertentu. Ada dua cara untuk mengetahui konsentrasi cuplikan yang telah diketahui nilai absorbansinya, yaitu cara deret waktu dengan membandingkan nilai absorbansi terhadap kurva kalibrasi dari standar-standar yang diketahui, cara penambahan standar dengan membandingkan konsentrasi dengan perpotongan grafik terhadap sumbu dengan konsentrasi dari data absorbansi.

3. Instrumentasi Spektrofotometri Serapan Atom

Spektrofotometer Serapan Atom memiliki komponen-komponen sebagai berikut

1). Sumber Sinar

Sumber radiasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah *Hallow Cathode Lamp* (HCL). Setiap pengukuran dengan SSA harus menggunakan *Hallow Cathode Lamp*. *Hallow Cathode* akan memancarkan energi radiasi yang sesuai dengan energi yang diperlukan untuk transisi elektron atom.

2). Sumber Atomisasi

Cara yang paling umum digunakan untuk mengatomisasi adalah dengan energi panas. Panas pada temperatur yang tinggi dapat memutuskan ikatan antar atom sehingga terbentuk atom bebas. Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk atomisasi yaitu: dengan nyala dari pembakaran gas dan tanpa nyala dengan cara mereduksi panas dari pijarnya batang grafit oleh energi listrik.

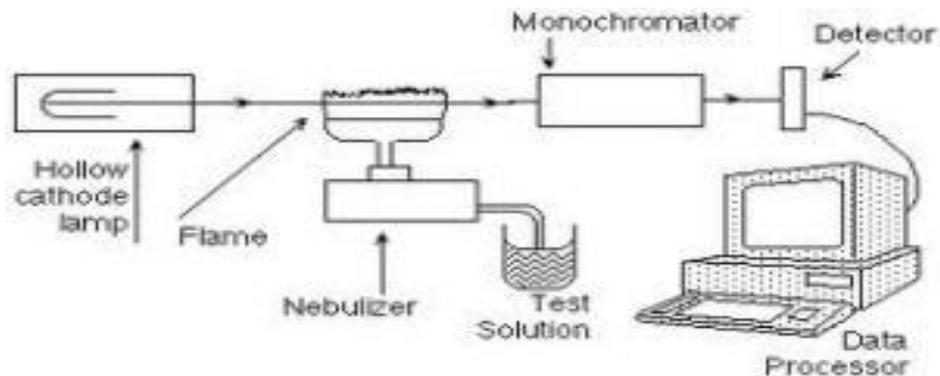
3). Monokromator

Monokromator merupakan alat yang berfungsi untuk memisahkan radiasi yang tidak diperlukan dari spektrum radiasi lain yang dihasilkan oleh *Hallow Cathode Lamp*.

4). Detektor

Detektor merupakan alat yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik, yang memberikan suatu isyarat listrik berhubungan dengan daya radiasi yang diserap oleh permukaan yang peka. Sistem pengolah berfungsi untuk mengolah

kuat arus dari detektor menjadi besaran daya serap atom transmisi yang selanjutnya diubah menjadi data dalam sistem pembacaan dan sistem pembacaan merupakan bagian yang menampilkan suatu angka atau gambar yang dapat dibaca oleh mata.



Gambar 4. Skema Instrumentasi Spektrofotometri Serapan Atom (Syahputra, 2004; Khopkar, 1990).

4. Validasi Metode

Validasi metode adalah merupakan suatu proses pembuktian melalui pengujian analisis di laboratorium untuk memberikan data-data tentang kehandalan suatu metode dari suatu prosedur yang digunakan (Green, 1996).

a. Limit Deteksi

Batas deteksi atau limit deteksi adalah jumlah terkecil analit dalam sampel yang dapat dideteksi yang masih memberikan respon signifikan. Batas deteksi dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Q = \frac{k \times SD}{SI}$$

Keterangan : Q : LOD (limit deteksi)

K : konstanta

SD : simpangan baku respon analitik dari blanko

SI : arah garis linier (kepekaan arah) dari kurva antar respon terhadap konsentrasi = *slope* (b pada persamaan garis $y = a + bx$)

b. Presisi (ketelitian)

Presisi merupakan ukuran derajat keterulangan dari metode analisis yang memberikan hasil yang sama pada beberapa perulangan, dinyatakan sebagai Relatif Standar Deviasi (RSD) dan simpangan baku (SD). Metode dengan presisi yang baik ditunjukkan dengan perolehan Relatif Standar Deviasi (RSD) < 5 %.

Simpangan baku (SD) dan Relatif Standar Deviasi (RSD) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{(\sum(x - \bar{x})^2)}{n - 1}}$$

Keterangan : SD : Standar Deviasi (simpangan baku)

x : Konsentrasi hasil analisis

n : Jumlah pengulangan analisis

\bar{x} : konsentrasi rata – rata hasil analisis

$$RSD = \frac{SD}{\bar{M}} \times 100\%$$

Keterangan : RSD : Relatif Standar Deviasi

\bar{M} : konsentrasi logam sebenarnya

SD : Standar Deviasi (Ibrahim, 2001).

c. Akurasi (Kecermatan)

Akurasi adalah suatu kedekatan kesesuaian antara hasil suatu pengukuran dan nilai benar dari kuantitas yang diukur atau suatu pengukuran posisi yaitu seberapa dekat hasil pengukuran dengan nilai benar yang diperkirakan. Kecermatan dinyatakan sebagai persen perolehan kembali (*recovery*) analit yang ditambahkan. Persen perolehan kembali dapat ditentukan dengan persamaan berikut (AOAC, 1993):

$$\% \text{ perolehan kembali} = \frac{(C_F - C_A)}{C^*A} \times 100 \%$$

Keterangan : C_F : konsentrasi total sampel yang diperoleh dari pengukuran

C_A : konsentrasi sampel sebenarnya

C^*A : konsentrasi analit yang ditambahkan