II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Muara Sungai (Estuaria)

Estuaria adalah perairan yang semi tertutup yang berhubungan bebas dengan laut, sehingga air laut dengan salinitas tinggi dapat bercampur dengan air tawar (Pickard, 1967). Kombinasi pengaruh air laut dan air tawar tersebut akan menghasilkan suatu komunitas yang khas, dengan kondisi lingkungan yang bervariasi, antara lain 1. tempat bertemunya arus sungai dengan arus pasang surut, yang berlawanan menyebabkan suatu pengaruh yang kuat pada sedimentasi, pencampuran air, dan ciri-ciri fisika lainnya, serta membawa pengaruh besar pada biotanya. 2. pencampuran kedua macam air tersebut menghasilkan suatu sifat fisika lingkungan khusus yang tidak sama dengan sifat air sungai maupun sifat air laut. 3. perubahan yang terjadi akibat adanya pasang surut mengharuskan komunitas mengadakan penyesuaian secara fisiologis dengan lingkungan sekelilingnya. 4. tingkat kadar garam di daerah estuaria tergantung pada pasang-surut air laut, banyaknya aliran air tawar dan arus-arus lain, serta topografi daerah estuaria tersebut.

Secara umum estuaria mempunyai peran ekologis penting antara lain : sebagai sumber zat hara dan bahan organik yang diangkut lewat sirkulasi pasang surut (*tidal circulation*), penyedia habitat bagi sejumlah spesies hewan yang bergantung pada estuaria sebagai tempat berlindung dan tempat mencari makanan (*feeding ground*) dan sebagai tempat untuk bereproduksi dan/atau tempat tumbuh besar (*nursery ground*) terutama bagi sejumlah spesies ikan dan udang. Perairan estuaria secara umum dimanfaatkan manusia untuk tempat pemukiman, tempat penangkapan dan budidaya sumberdaya ikan, jalur transportasi, pelabuhan dan kawasan industri (Bengen, 2004).

Aktifitas yang ada dalam rangka memanfaatkan potensi yang terkandung di wilayah pesisir, seringkali saling tumpang tindih, sehingga tidak jarang pemanfaatan sumberdaya tersebut justru menurunkan atau merusak potensi yang ada. Hal ini karena aktifitas-aktifitas tersebut, baik secara langsung maupun tidak langsung, mempengaruhi kehidupan organisme di wilayah pesisir, melalui perubahan lingkungan di wilayah tersebut. Sebagai contoh, adanya limbah

buangan baik dari pemukiman maupun aktifitas industri, walaupun limbah ini mungkin tidak mempengaruhi tumbuhan atau hewan utama penyusun ekosistem pesisir di atas, namun kemungkinan akan mempengaruhi biota penyusun lainnya. Logam berat, misalnya mungkin tidak berpengaruh terhadap kehidupan tumbuhan bakau (mangrove), akan tetapi sangat berbahaya bagi kehidupan ikan dan udang-udangnya (krustasea) yang hidup di hutan tersebut (Bryan, 1976).

2.2. Parameter Fisika dan Kimia Kualitas Air.

Suhu

Suhu air di daerah estuaria biasanya memperlihatkan fluktuasi annual dan diurnal yang lebih besar daripada laut, terutama apabila estuaria tersebut dangkal dan air yang datang (pada saat pasang-naik) ke perairan estuaria tersebut kontak dengan daerah yang substratnya terekspos (Kinne, 1964).

Suhu dan salinitas merupakan parameter-parameter fisika yang penting untuk kehidupan organisme di perairan laut dan payau. Parameter ini sangat spesifik di perairan estuaria. Kenaikan suhu di atas kisaran toleransi organisme dapat meningkatkan laju metabolisme, seperti pertumbuhan, reproduksi dan aktifitas organisme. Kenaikan laju metabolisme dan aktifitas ini berbeda untuk spesies, proses dan level atau kisaran suhu.

Salinitas

Salinitas perairan menggambarkan kandungan garam dalam suatu perairan. Garam yang dimaksud adalah berbagai ion yang terlarut dalam air termasuk garam dapur (NaCl). Pada umumnya salinitas disebabkan oleh 7 ion utama yaitu : natrium (Na), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), klorit (Cl), sulfat (SO_4) dan bikarbonat (HCO_3). Salinitas dinyatakan dalam satuan gram/kg atau promil ($^0/_{00}$) (Effendi, 2003)

Variasi salinitas di daerah estuaria menentukan kehidupan organisme laut/payau. Hewan-hewan yang hidup di perairan payau (salinitas 0,5-30$^o/_{oo}$), hipersaline (salinitas 40-80$^o/_{oo}$) atau air garam (salinitas >80$^o/_{oo}$), biasanya mempunyai toleransi terhadap kisaran salinitas yang lebih besar dibandingkan dengan organisme yang hidup di air laut atau air tawar.

Derajat Keasaman (pH)

Nilai derajat keasaman (pH) suatu perairan mencirikan keseimbangan antara asam dan basa dalam air dan merupakan pengukuran konsentrasi ion hidrogen dalam larutan (Saeni, 1989). Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH sekitar 7-8,5 (Effendi, 2003).

Padatan Tersuspensi (TSS)

Padatan tersuspensi total (*total suspended solid*) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter > 1 m) yang tertahan pada saringan *millipore* dengan diameter pori 0,45 m. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air (Effendi, 2003).

2.3. Pencemaran

Pencemaran perairan adalah suatu perubahan fisika, kimia dan biologi yang tidak dikehendaki pada ekosistem perairan yang akan menimbulkan kerugian pada sumber kehidupan, kondisi kehidupan dan proses industri (Odum, 1971). Pencemaran perairan pesisir didefinisikan sebagai dampak negatif, pengaruh yang membahayakan terhadap kehidupan biota, sumberdaya dan kenyamanan ekosistem perairan serta kesehatan manusia dan nilai guna lainnya dari ekosistem perairan yang disebabkan secara langsung oleh pembuangan bahan-bahan atau limbah ke dalam perairan yang berasal dari kegiatan manusia (Gesamp, 1986).

Secara garis besar sumber pencemaran perairan pesisir dan lautan dapat dikelompokkan menjadi tujuh kelas yaitu limbah, industri, limbah cair pemukiman (*sewage*) , limbah cair perkotaan (*urban storm water*), pertambangan, pelayaran (*shipping*), pertanian dan perikanan budidaya. Sedangkan bahan pencemar utama yang terkandung dalam buangan limbah dari ketujuh sumber tersebut berupa sediment, unsur hara (*nutrient*), logam beracun (*toxic metal*), pestisida, organisme eksotik, organisme pathogen, sampah dan *oxygen depleting substance* (bahan yang menyebabkan oksigen terlarut dalam air berkurang) (Dahuri,1998).

Pencemaran perairan merupakan masalah lingkungan hidup yang perlu

dipantau sumber dan dampaknya terhadap ekosistem. Dalam memantau pencemaran air digunakan kombinasi komponen fisika, kimia dan biologi. Penggunaan salah satu komponen saja sering tidak dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya. Sastrawijaya (1991) menyatakan bahwa penggunaan komponen fisika dan kimia saja hanya akan memberikan gambaran kualitas lingkungan sesaat dan cenderung memberikan hasil dengan penafsiran dan kisaran yang luas, oleh sebab itu penggunaan komponen biologi juga sangat diperlukan karena fungsinya yang dapat mengantisipasi perubahan pada lingkungan kualitas perairan.

Romimohtarto (1991) menyatakan bahwa setelah memasuki perairan pesisir dan laut sifat bahan pencemar ditentukan oleh beberapa faktor atau beberapa jalur dengan kemungkinan perjalanan bahan pencemar sebagai berikut : 1. Terencerkan dan tersebar oleh adukan turbulensi dan arus laut, 2. Dipekatkan melalui a. Proses biologis dengan cara diserap ikan, plankton nabati atau oleh ganggang laut bentik biota ini pada gilirannya dimakan oleh mangsanya, b. Proses fisik dan kimiawi dengan cara absorpsi, pengendapan, pertukaran ion dan kemudian bahan pencemar itu akan mengendap di dasar perairan, 3. Terbawa langsung oleh arus dan biota (ikan).

Di sekitar perairan sungai kampar, banyak aktifitas industri, sehingga terjadi pembuangan limbah ke perairan. Limbah industri berasal dari aktifitas industri yang membuang hasil akhirnya ke lingkungan perairan dalam bentuk cair. Jenis limbah industri dapat dikelompokkan menjadi 5 macam yaitu 1.bahan-bahan organik yang terlarut, termasuk bahan-bahan yang beracun, tahan urai (persistent) dan dapat diurai secara biologis, 2.bahan-bahan anorganik termasuk unsur-unsur hara, 3.bahan-bahan organik yang tidak larut, 4.bahan-bahan anorganik yang tidak larut, 5. bahan-bahan radioaktif.

Logam Berat

Logam adalah unsur alam yang dapat diperoleh dari laut, erosi batuan tambang, vulkanisme dan sebagainya (Clark, 1986). Umumnya logam-logam di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan dengan unsur lain, sangat jarang yang ditemukan dalam elemen tunggal. Unsur ini dalam kondisi suhu kamar tidak

selalu berbentuk padat melainkan ada yang berbentuk cair, misalnya merkuri (Hg). Dalam badan perairan, logam pada umumnya berada dalam bentuk ion-ion, baik sebagai pasangan ion ataupun dalam bentuk ion-ion tunggal. Sedangkan pada lapisan atmosfir, logam ditemukan dalam bentuk partikulat, dimana unsur-unsur logam tersebut ikut berterbangan dengan debu-debu yang ada di atmosfir (Palar, 2004). Menurut Palar (2004) melihat bentuk dan kemampuannya setiap logam haruslah memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

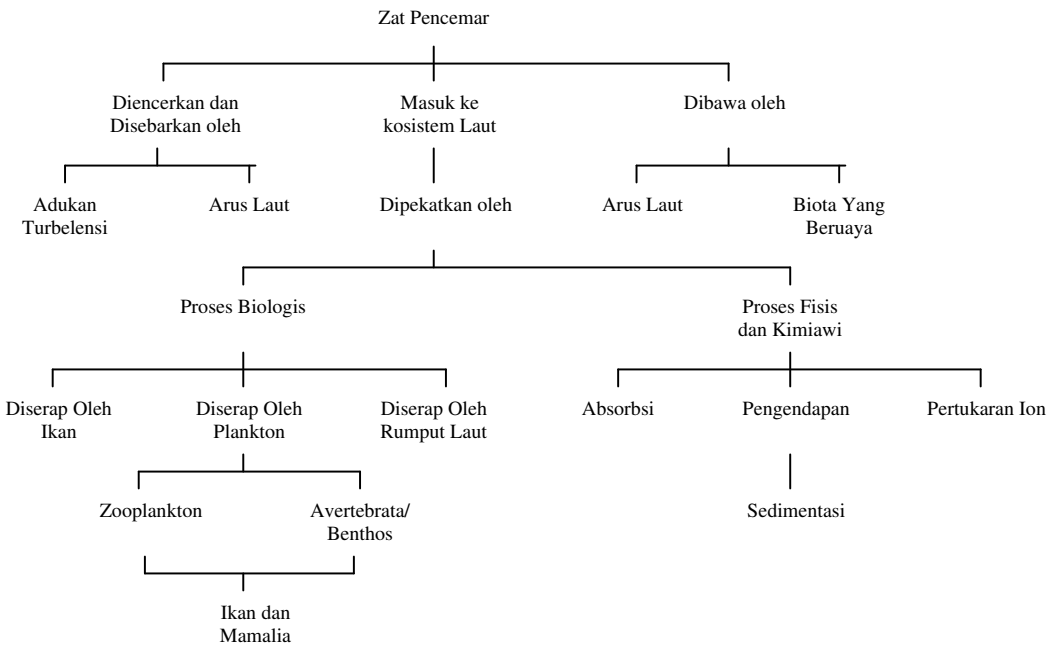
a) Memiliki kemampuan yang baik sebagai penghantar daya listrik (konduktor).
b) Memiliki kemampuan sebagai penghantar panas yang baik.
c) Memiliki rapatan yang tinggi.
d) Dapat membentuk alloy dengan logam lainnya.
e) Untuk logam yang padat, dapat ditempa dan dibentuk.

Berbeda dengan logam biasa, logam berat adalah istilah yang digunakan secara umum untuk kelompok logam berat dan metaloid yang densitasnya lebih besar dari 5 g/cm^3 (Hutagalung *et al*., 1997). Dalam perairan, logam berat dapat ditemukan dalam bentuk terlarut dan tidak terlarut. Logam berat terlarut adalah logam yang membentuk komplek dengan senyawa organik dan anorganik, sedangkan logam berat yang tidak terlarut merupakan partikel-partikel yang berbentuk koloid dan senyawa kelompok metal yang teradsorbsi pada partikel-partikel yang tersuspensi (Razak, 1980)**.**

Menurut Darmono (1995) sifat logam berat sangat unik, tidak dapat dihancurkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses biomagnifikasi. Pencemaran logam berat ini menimbulkan berbagai permasalahan diantaranya: 1. berhubungan dengan estetika (perubahan bau, warna dan rasa air), 2. berbahaya bagi kehidupan tanaman dan binatang, 3. berbahaya bagi kesehatan manusia, 4. menyebabkan kerusakan pada ekosistem.

Sebagian dari logam berat bersifat *essensial* bagi organisme air untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya, antara lain dalam pembentukan haemosianin dalam sistem darah dan enzimatik pada biota (Darmono, 1995). Akan tetapi bila jumlah dari logam berat masuk ke dalam tubuh dengan jumlah berlebih, maka akan berubah fungsi menjadi racun bagi tubuh (Palar, 2004). Sebagai contoh adalah raksa (Hg), kadmium (Cd) dan timah hitam (Pb).

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 (logam berat) masuk ke lingkungan laut (EPA, 1973)

Dalam lingkungan perairan ada tiga media yang dapat dipakai sebagai indikator pencemaran logam berat, yaitu air, sedimen dan organisme hidup. Pemakaian organisme laut sebagai indikator pencemaran didasarkan pada kenyataan bahwa alam atau lingkungan yang tidak tercemar akan ditandai oleh kondisi biologi yang seimbang dan mengandung kehidupan yang beranekaragam. Terdapat beberapa pengaruh toksisitas logam pada ikan, pertama pengaruh toksisitas logam pada insang. Insang selain sebagai alat pernafasan juga digunakan sebagai alat pengaturan tekanan antara air dan dalam tubuh ikan

(osmoregulasi). Oleh sebab itu insang merupakan organ yang penting pada ikan dan sangat peka terhadap pengaruh toksisitas logam.

A. Karakteristik logam berat

1. Cadmium (Cd)

Kadmium (Cd) adalah salah satu logam berat dengan penyebaran yang sangat luas di alam, logam ini bernomor atom 48, berat atom 112,40 dengan titik cair 321°C dan titik didih 765°C. Di alam Cd bersenyawa dengan belerang (S) sebagai *greennocckite* (CdS) yang ditemui bersamaan dengan senyawa *spalerite* (ZnS). Kadmium merupakan logam lunak (*ductile*) berwarna putih perak dan mudah teroksidasi oleh udara bebas dan gas amonia (NH_3) (Palar, 2004). Di perairan Cd akan mengendap karena senyawa sulfitnya sukar larut (Bryan, 1976).

Menurut Clark (1986) sumber kadmium yang masuk ke perairan berasal dari:

1. Uap, debu dan limbah dari pertambangan timah dan seng.
2. Air bilasan dari elektroplating.
3. Besi, tembaga dan industri logam *non ferrous* yang menghasilkan abu dan uap serta air limbah dan endapan yang mengandung kadmium.
4. Seng yang digunakan untuk melapisi logam mengandung kira-kira 0, 2 % Cd sebagai bahan ikutan (*impurity*); semua Cd ini akan masuk ke perairan melalui proses korosi dalam kurun waktu 4-12 tahun.
5. Pupuk phosfat dan endapan sampah.

Penggunaan Cd yang paling utama adalah sebagai *stabiliser* (penyeimbang) dan pewarna pada plastik dan elektroplating (penyepuh/pelapisan logam). Selain itu digunakan pula pada penyolderan dan pencampuran logam serta industri baterai. Akumulasinya dalam air tanah antara lain diakibatkan oleh kegiatan elektroplating (pelapisan emas dan perak), pengerjaan bahan-bahan dengan menggunakan pigmen/zat warna lainnya, tekstil dan industri kimia (Darmono, 1995).

Logam kadmium atau Cd akan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup (tumbuhan, hewan dan manusia). Dalam biota perairan jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan

(biomagnifikasi) dan dalam rantai makanan biota yang tertinggi akan mengalami akumulasi Cd yang lebih banyak. Keracunan kadmium bisa menimbulkan rasa sakit, panas pada bagian dada, penyakit paru-paru akut dan menimbulkan kematian. Salah satu contoh kasus keracunan akibat pencemaran Cd adalah timbulnya penyakit itai-itai di Jepang (Palar, 2004).

2. Plumbum-Timah hitam (Pb)

Logam Pb secara alami tersebar luas pada batu-batuan dan lapisan kerak bumi (Clark, 1986). Logam ini termasuk ke dalam kelompok logam-logam golongan IV-A dengan nomor atom 82 dan bobot 207,2. Penyebaran Pb di bumi sangat sedikit yaitu 0,0002 % dari seluruh lapisan bumi. Logam Pb terdapat di perairan baik secara alamiah ataupun sebagai dampak dari aktifitas manusia. Logam ini masuk ke perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Di samping itu, proses korosifikasi dari batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin, juga merupakan salah satu jalur sumber Pb yang akan masuk ke dalam perairan (Palar, 2004).

Timbal dan persenyawaannya digunakan dalam industri baterai sebagai bahan yang aktif dalam pengaliran arus elektron. Kemampuan timbal dalam membentuk alloy dengan logam lain telah dimanfaatkan untuk meningkatkan sifat metalurgi ini dalam penerapan yang sangat luas, contohnya digunakan untuk kabel listrik, kontruksi pabrik-pabrik kimia, kontainer dan memiliki kemampuan tinggi untuk tidak mengalami korosi (Palar, 2004). Selain itu, Pb dapat digunakan sebagai zat tambahan bahan bakar dan pigmen timbal dalam cat yang merupakan penyebab utama peningkatan kadar Pb di lingkungan (Darmono, 1995). Hampir 10 % dari total produksi tambang logam timbal digunakan untuk pembuatan *tetra ethyl lead* atau TEL yang dibutuhkan sebagai bahan penolong dalam proses produksi bahan bakar bensin karena dapat mendongkrak (*boosting*) nilai oktan bahan bakar sekaligus berfungsi sebagai *antiknocking* untuk mencegah terjadinya ledakan saat berlangsungnya pembakaran dalam mesin.

Konsentrasi Pb yang mencapai 188 mg/l, dapat membunuh ikan. Sedangkan krustase setelah 245 jam akan mengalami kematian, apabila pada badan air konsentrasi Pb adalah 2,75 - 49 mg/l (Palar, 2004). Direktorat Jenderal

Pengawasan Obat dan Makanan (POM) No. 03725/B/SK/VII/89 membatasi kandungan logam berat Pb maksimum pada sumberdaya ikan dan olahannya adalah adalah 2,0 ppm. Untuk batas maksimum cemaran logam berat dalam makanan menurut Depkes RI (1989) pada Tabel 1.

Tabel 1. Batas maksimum cemaran logam berat dalam makanan (DEPKES RI, 1989)

Parameter	Satuan	Batas Maksimum
Merkuri (Hg)	µg/kg	500
Kadmium (Cd)	µg/kg	1000
Timbal (Pb)	µg/kg	2000

Kandungan Logam Berat Dalam Air

Air merupakan elemen penting bagi kehidupan organisme perairan. Untuk menjaga kualitas perairan yang mendukung kehidupan berbagai organisme maka diperlukan suatu pengontrolan dari berbagai aktifitas manusia yang memanfaatkan perairan baik secara langsung maupun tidak langsung. Salah satu kegiatan manusia yang memanfaatkan perairan adalah kegiatan industri. Sebagaimana diketahui secara umum bahwa hasil buangan akhir dari sebuah pabrik atau kegiatan industri bermuara ke perairan disekitarnya, meskipun perusahaan atau pabrik tersebut telah memiliki IPAL (instalasi pengolahan air limbah). Air buangan yang telah di olah tidak terlepas akan sisa atau residu yang mengandung bahan berbahaya bagi kehidupan perairan baik dalam kadar yang banyak atau sedikit.

Konsentrasi bahan pencemar yang masuk ke perairan bisa mempengaruhi kehidupan organisme terutama yang menjadi topik disini adalah spesies ikan. Salah satu jenis unsur kimia yang bisa menyebabkan terjadi kerusakan ekosistem perairan adalah unsur logam berat. Sebagaimana diketahui unsur logam berat yang masuk ke perairan berasal dari berbagai kegiatan indutsri selain bersumber dari alam sendiri. Untuk itu sangat diperlukan suatu kajian yang melihat seberapa besar pengaruh unsur-unsur logam berat tersebut bisa mempengaruhi ekosistem perairan terutama yang berhubungan langsung dengan kualitas airnya.

Tabel 2. Standar baku mutu air terhadap logam berat

Logam	Simbol	Standar Baku	
		Perikanan (mg/l)[1]	EPA (ppm)[2]
Kadmium	Cd	0,01	0,0043
Krom	Cr	0,05	0,016
Timbal	Pb	0,01	0,065
Seng	Zn	0,02	0,12
Merkuri	Hg	0,002	0,0014

Keterangan :
1. PP No 82 tahun 2001
2. Environmental Protection Agency. 1973. Water Quality Criteria

Logam berat biasanya sangat sedikit dalam air secara ilmiah kurang dari 1 g/l. Menurut Palar (2004) kelarutan dari unsur-unsur logam dan logam berat dalam badan air dikontrol oleh : (1) pH badan air, (2) jenis dan konsentrasi logam dan khelat (3) keadaan komponen mineral teroksida dan sistem berlingkungan redoks.

Logam berat yang dilimpahkan ke perairan, baik di sungai ataupun laut akan dipindahkan dari badan airnya melalui beberapa proses yaitu : pengendapan, adsorbsi dan absorbsi oleh organisme perairan. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air (Harahap, 1991).

Berdasarkan peraturan pemerintah kandungan logam berat yang boleh masuk ke perairan laut mempunyai batasan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria baku mutu air laut untuk biota laut (MENKLH, 2004)

Parameter	Satuan	Baku Mutu
Merkuri (Hg)	mg/l	0,01
Kadmium (Cd)	mg/l	0,001
Timbal (Pb)	mg/l	0,008

Rochyatun (1997) menyatakan walaupun terjadi peningkatan sumber logam berat, namun konsentrasinya dalam air dapat berubah setiap saat. Hal ini

terkait dengan berbagai macam proses yang dialami oleh senyawa tersebut selama dalam kolom air. Parameter yang mempengaruhi konsentrasi logam berat di perairan adalah suhu, salinitas, arus, pH dan padatan tersuspensi total atau seston (Nanty, 1999). Dengan sendirinya interaksi dari faktor-faktor tersebut akan berpengaruh terhadap fluktuasi konsentrasi logam berat dalam air, karena sebagian logam berat tersebut akan masuk ke dalam sedimen.

Kandungan Logam Berat Dalam Sedimen

Sedimen merupakan tempat tinggal tumbuhan dan hewan yang ada di dasar. Sedimen terdiri dari bahan organik yang berasal dari hewan atau tumbuhan yang membusuk kemudian tenggelam ke dasar dan bercampur dengan lumpur dan bahan anorganik yang umumnya berasal dari pelapukan batuan (Sverdrup, 1966).

Kebanyakan perairan pesisir didominasi oleh substrat lunak. Substrat lumpur berasal dari sedimen yang terbawa oleh sungai ke perairan pesisir. Claphman (1973) menyatakan bahwa air sungai mengangkut partikel lumpur dalam bentuk suspensi, ketika partikel mencapai muara dan bercampur dengan air laut, partikel lumpur akan membentuk partikel yang lebih besar dan mengendap di dasar perairan.

Sedimen estuaria adalah secara fisiologis merupakan lingkungan yang kaku untuk kebanyakan invertebrata karena range kadar garamnya (14±30 $^{0}/_{00}$), fluktuasi temperatur dan pasang surut. Banyak spesies yang umum digunakan dalam pengujian toksisitas di perairan laut dan tawar, tidak sesuai untuk mengukur toksisitas sedimen di estuaria karena toleransi kadar garam yang sempit atau tidak ada spesies endemik di estuaria.

Struktur sedimen pada tiap stasiun pengamatan berbeda. Pada stasiun pengamatan 1 struktur sedimen tergolong pada pasir kasar dan banyak batuan. Sedangkan pada stasiun pengamatan 2 dan 3 termasuk sedimen lumpur. Karakteristik perbedaan sedimen ikut berperan pada pola penyebaran dari konsentrasi logam di dasar perairan.

Sedimen laut menurut asalnya diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu *lythogenous*, *biogenous* dan *hydrogenous*. *Lythogenous* adalah sedimen yang berasal dari batuan, umumnya berupa mineral silikat yang berasal dari

pelapukan batuan. *Biogenous* adalah sedimen yang berasal dari organisme berupa sisa-sisa tulang, gigi atau cangkang organisme, sedangkan *hydrogenous* merupakan sedimen yang terbentuk karena reaksi kimia yang terjadi di laut (Hutabarat dan Stewart, 1985).

Karakteristik sedimen akan mempengaruhi morfologi, fungsional, tingkah laku serta nutrien hewan benthos. Hewan benthos seperti bivalva dan gastropoda beradaptasi sesuai dengan tipe substratnya. Adaptasi terhadap substrat ini akan menentukan morfologi, cara makan dan adaptasi fisiologis organisme terhadap suhu, salinitas serta faktor kimia lainnya (Razak, 2002). Disamping tipe substrat, ukuran partikel sedimen juga berperan penting dalam menentukan jenis benthos laut (Levinton, 1982). Partikel sedimen mempunyai ukuran yang bervariasi, mulai dari yang kasar sampai halus. Menurut Buchanan (1984) berdasarkan skala Wenworth sedimen di klasifikasikan berdasarkan ukuran partikelnya (Tabel 4).

Sedimen terdiri dari beberapa komponen bahkan tidak sedikit sedimen yang merupakan pencampuran dari komponen-komponen tersebut. Adapun komponen itu bervariasi, tergantung dari lokasi, kedalaman dan geologi dasar (Forstner dan Wittman, 1983). Pada saat buangan limbah industri masuk ke dalam suatu perairan maka akan terjadi proses pengendapan dalam sedimen. Hal ini menyebabkan konsentrasi bahan pencemar dalam sedimen meningkat.

Tabel 4. Klasifikasi partikel sedimen menurut skala Wenworth (Buchanan, 1984)

No.	**Partikel**	**Ukuran partikel**	
		mm	**µm**
1.	*Boulder* (batuan)	> 256	> $256x10^3$
2.	*Cobble* (batuan bulat)	64-256	$64x10^3$-$256x10^3$
3.	*Pebble* (batu kerikil)	4,0-64	4000-64000
4.	*Granule* (butiran)	2,0-4,0	2000-4000
5.	*Very coarse sand* (pasir sangat kasar)	1,0-2,0	1000-2000
6.	*Coarse sand* (pasir kasar)	0,5-1,0	500-1000
7.	*Medium sand* (pasir sedang)	0,25-0,5	250-500
8.	*Fine sand* (pasir halus)	0,125-0,25	125-250
9.	*Very fine sand* (pasir sangat halus)	0,0625-0,125	62,5-125
10.	*Silt* (Lumpur)	0,0039-0,0625	3,9-62,5
11.	*Clay* (liat)	< 0,0039	< 3,9

Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi, kemudian diserap oleh organisme yang

hidup di perairan tersebut. Pengendapan logam berat di suatu perairan terjadi karena adanya anion karbonat hidroksil dan klorida (Hutagalung, 1984). Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibanding dalam air (Hutagalung, 1991)

Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen, oleh karena itu kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air (Harahap, 1991). Konsentrasi logam berat pada sedimen tergantung pada beberapa faktor yang berinteraksi. Faktor-faktor tersebut adalah :

1. Sumber dari mineral sedimen antara sumber alami atau hasil aktifitas manusia.Melalui partikel pada lapisan permukaan atau lapisan dasar sedimen.
2. Melalui partikel yang terbawa sampai ke lapisan dasar.
3. Melalui penyerapan dari logam berat terlarut dari air yang bersentuhan.

Beberapa material yang terkonsentrasi di udara dan permukaan air mengalami oksidasi, radiasi ultraviolet, evaporasi dan polymerisasi. Jika tidak mengalami proses pelarutan, material ini akan saling berikatan dan bertambah berat sehingga tenggelam dan menyatu dalam sedimen. Logam berat yang diadsorpsi oleh partikel tersuspensi akan menuju dasar perairan, menyebabkan kandungan logam di air menjadi lebih rendah. Hal ini tidak menguntungkan bagi organisme yang hidup di dasar seperti *oyster* dan kepiting sebagai *filter feeder*, partikel sedimen ini akan masuk ke dalam sistem pencernaannya (Williams, 1979).

Logam berat yang masuk ke sistem perairan, baik di sungai maupun lautan akan dipindahkan dari badan airnya melalui tiga proses yaitu pengendapan, adsorbsi, dan absorbsi oleh organisme-organisme perairan (Bryan, 1976). Dalam lingkungan perairan, bentuk logam antara lain berupa ion-ion bebas, pasangan ion organik, dan ion kompleks. Kelarutan logam dalam air dikontrol oleh pH air. Kenaikan pH menurunkan kelarutan logam dalam air, karena kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air, sehingga akan mengendap membentuk

lumpur (Palar, 2004). Selain itu, kenaikan suhu air laut dan penurunan pH akan mengurangi adsorpsi senyawa logam berat pada partikulat. Suhu air laut yang lebih dingin akan meningkatkan adsorpsi logam berat ke partikulat untuk mengendap di dasar laut. Sementara saat suhu air laut naik, senyawa logam berat akan melarut di air laut karena penurunan laju adsorpsi ke dalam partikulat. Logam yang memiliki kelarutan yang kecil akan ditemukan di permukaan air laut selanjutnya dengan perpindahan dan waktu tertentu akan mengendap hingga ke dasar laut, artinya logam tersebut hanya akan berada di dekat permukaan air laut dalam waktu yang sesaat saja untuk kemudian mengendap lagi. Hal ini ditentukan antara lain oleh massa jenis air laut, viskositas (kekentalan) air laut, temperatur air laut, arus serta faktor-faktor lainnya.

Daya larut logam berat dapat menjadi lebih tinggi atau lebih rendah tergantung pada kondisi lingkungan perairan. Pada daerah yang kekurangan oksigen, misalnya akibat kontaminasi bahan-bahan organik, daya larut logam berat akan menjadi lebih rendah dan mudah mengendap. Logam berat seperti Zn,Cu, Cd, Pb, Hg dan Ag akan sulit terlarut dalam kondisi perairan yang anoksik (Ramlal, 1987). Logam berat yang terlarut dalam air akan berpindah ke dalam sedimen jika berikatan dengan materi organik bebas atau materi organik yang melapisi permukaan sedimen, dan penyerapan langsung oleh permukaan partikel sedimen (Wilson, 1988).

Kandungan logam berat pada sedimen umumnya rendah pada musim kemarau dan tinggi pada musim penghujan. Penyebab tingginya kadar logam berat dalam sedimen pada musim penghujan kemungkinan disebabkan oleh tingginya laju erosi pada permukaan tanah yang terbawa ke dalam badan sungai, sehingga sedimen dalam sungai yang diduga mengandung logam berat akan terbawa oleh arus sungai menuju muara dan pada akhirnya terjadi proses sedimentasi (Bryan, 1976).

Mengendapnya logam berat bersama-sama dengan padatan tersuspensi akan mempengaruhi kualitas sedimen di dasar perairan dan juga perairan sekitarnya. Kekuatan ionik yang terdapat di air laut disebabkan adanya berbagai kandungan anion dan kation pada air laut, sehingga memungkinkan terjadinya proses koagulasi (penggumpalan) senyawa logam berat yang ada dan

memungkinkan terjadinya proses sedimentasi (pengendapan). Jika kapasitas angkut sedimen cukup besar, maka sedimen di dasar perairan akan terangkat dan terpindahkan. Sesuai teori gravitasi, apabila partikulat memiliki massa jenis lebih besar dari massa jenis air laut maka partikulat akan mengendap di dasar laut atau terjadi proses sedimentasi.

Menurut Bernhard (1981) konsentrasi logam berat tertinggi terdapat dalam sedimen yang berupa lumpur, tanah liat, pasir berlumpur dan campuran dari ketiganya dibandingkan dengan yang berupa pasir murni. Hal ini sebagai akibat dari adanya gaya tarik elektro kimia partikel sedimen dengan partikel mineral, pengikatan oleh partikel organik dan pengikatan oleh sekresi lendir organisme.

Kandungan Logam Berat Dalam Tubuh Ikan

Darmono (2001) logam berat 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). Akumulasi logam berat dalam tubuh organisme tergantung pada konsentrasi logam berat dalam air/lingkungan, suhu, keadaan spesies dan aktifitas fisiologis (Connel dan Miller 1995).

Bahan pencemar yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami tiga macam proses akumulasi yaitu fisik, kimia dan biologis. Buangan limbah industri yang mengandung bahan berbahaya dengan toksisitas yang tinggi dan kemampuan biota untuk menimbun logam bahan pencemar mengakibatkan bahan pencemar langsung terakumulasi secara fisik dan kimia lalu mengendap di dasar laut. Melalui rantai makanan terjadi metabolisme bahan berbahaya secara biologis dan akhirnya akan mempengaruhi kesehatan manusia. Akumulasi melalui proses biologis inilah yang diesbut dengan bioakumulasi (Hutagalung, 1984).

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).

Beberapa efek yang ditimbulkan oleh merkuri terhadap tubuh menurut Palar (2004) antara lain :

1. Semua senyawa merkuri adalah racun bagi tubuh, apabila berada dalam jumlah yang cukup.
2. Senyawa-senyawa merkuri yang berbeda, menunjukkan karakteristik yang berbeda pula dalam daya racun yang dimilikinya, penyebarannya, akumulasi dan waktu retensinya di dalam tubuh.
3. Biotransformasi tertentu yang terjadi dalam suatu tata linkungan dan atau dalam tubuh organisme hidup yang telah kemasukan merkuri disebabkan oleh perubahan bentuk atas senyawa-senyawa merkuri itu, dari satu tipe ke tipe lainnya.
4. Pegaruh utama yang ditimbulkan oleh merkuri di dalam tubub adalah menghalangi kerja enzim dan merusak selaput dinding (membran) sel. Keadaan itu disebabkan karena kemampuan merkuri dalam membentuk ikatan kuat dengan gugus yang mengandung belerang (sulfur) yang terdapat dalam enzim atau dinding sel.
5. Kerusakan yang diakibatkan oleh logam merkuri dalam tubuh umumnya bersifat permanen.

2.4. Ikan Baung (*Hemibagrus nemurus*)

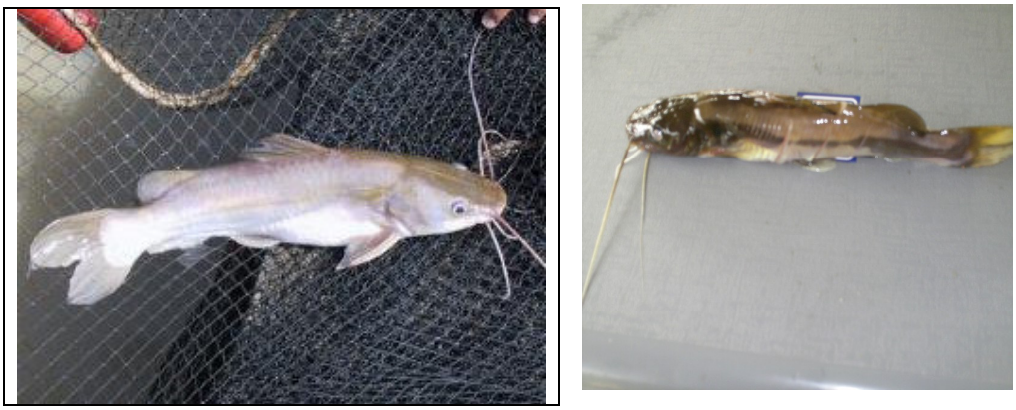
Ikan baung tergolong kedalam benthopelagic, dan hidup di perairan tawar dan payau dengan kisaran pH 7 – 8,2 dan suhu 22 – 25°C. Secara umum ikan baung terdistribusi dibeberapa daerah atau negara yaitu; Asia: Mekong, Chao Phraya dan Xe Bangfai basins; juga dari Malay Peninsula, Sumatra, Java, Borneo.

Ciri-ciri umum dari ikan baung adalah kepala ikan kasar, sirip lemak dipunggung sama panjang dengan sirip dubur, pinggiran ruang mata bebas, bibir tidak bergerigi yang dapat digerakkan, daun-daun insang terpisah. Langit-langit

bergerigi, lubang hidug berjauhan, yang di belakang dengan satu sungut hidung. Sirip punggung berjari-jari keras tajam. Ikan ini tidak bersisik, mulutnya tidak dapat disembulkan, biasanya tulang rahang atas bergerigi, 1-4 pasang sungut dan umumnya berupa sirip tambahan.

Adapun tingkatan taksonomi ikan baung (Fish base, 2006) adalah sebagai berikut:

Domain	: Eukaryota
Kingdom	: Animalia
Subkingdom	: Bilateria
Branch	: Deuterostomia
Infrakingdom	: Chordonia
Phylum	: Chordata
Subphylum	: Vertebrata
Infraphylum	: Gnathostomata
Class	: Osteichthyes
Subclass	: Actinopterygii
Infraclass	: Actinopteri
Superdivision	: Neopterygii
Division	: Halecostomip
Subdivision	: Teleostei
Infradivision	: Elopocephala
Cohort	: Clupeocephala
Subcohort	: Otocephala
Division	: Ostariophysi
Order	: Siluriformes
Family	: Bagridae
Genus	: *Hemibagrus*
Spesies	: *Hemibagrus nemurus* Linneus



Gambar 3. Ikan baung (*Hemibagrus nemurus*)

2.5. Histopatologi

Toksikologi adalah ilmu yang mempelajari aksi berbahaya zat kimia atas system biologi. Peristiwa timbulnya pengaruh berbahaya atau efek toksik racun atas makhluk hidup, melalui beberapa proses. Pertama kali makhluk hidup mengalami pemejanan dengan racun. Berikutnya, setelah mengalami absorpsi dari tempat pemejanannya, racun atau metabolitnya kan terdistribusi ke tempat aksi (sel sasaran atau reseptor) tertentu yang ada di dalam diri makhluk hidup. Ditempat aksi ini, kemudian terjadi interaksi antara racun atau metabolitnya dan komponen penyusun sel sasaran atau reseptor. Dan sebagai akibat sederetan peristiwa biokimia dan biofisika berikutnya, akhirnya timbul pengaruh berbahaya atau efek toksik dengan wujud dan sifat tertentu.

Ketoksikan racun ditentukan oleh keberadaan racun ditempat aksi, dan keadaan ini bergantung pada keefektifan absorpsi, distribusi dan eliminasi racun tersebut. Keefektifan absorpsi racun menentukan kecepatan dan kadar atau jumlah racun yang ada dalam sirkulasi darah. Keefektifan distribusi menentukan kecepatan dan kadar jumlah racun yang ada dalam tempat aksi tertentu. Dan keefektifan eliminasi, menentukan kadar atau jumlah racun dan lama tinggal racun di tempat aksinya.

Ada berbagai kemungkinan untuk menggolongkan toksikologi. Dapat dibedakan antara: 1. Efek toksik akut, yang mempunyai korelasi langsung dengan absorpsi zat toksik. 2. Efek toksik kronis, yang acapa kali zat toksik dalam jumlah kecil-diabsorpsi sepanjang jangka waktu yang lama-terakumlasi mencapai konsentrasi toksik dan karena itu akhirnya menimbulkan gejala keracunan.

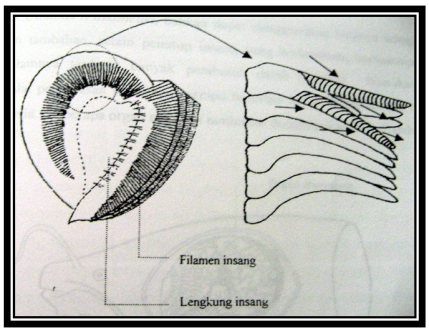
Untuk melihat perubahan yang ditimbulkan akibat masuknya bahan pencemar pada tubuh ikan terutama pada organ pernafasan (insang) dan hati, maka dilakukan pengamatan secara histopatologi. Histologi adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang jaringan. Patologi adalah kajian tentang penyakit atau kajian tentang adaptasi yang tidak cukup terhadap perubahan-perubahan lingkungan eksternal dan internal (Spector, 1993).

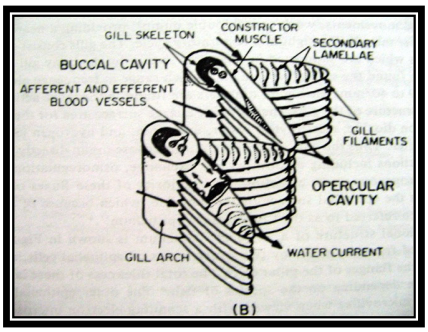
Insang

Insang adalah organ berhubungan dengan pernapasan utama dari ikan. insang Epithelium dari ikan adalah lokasi pertukaran gas yang utama, keseimbangan asam basa, regulasi ion. Fungsi organ pernafasan ini adalah hal yang penting bagi kehidupan ikan, dan untuk seluruh keberadaan ikan itu. Oleh karena itu, jika ikan diekspos ke lingkungan yang tercemar, akan membahayakan fungsi utama dari organ pernafasan ikan tersebut.

Insang sebagai alat pernafasan ikan, juga digunakan sebagai alat pengukur tekanan antara air dan dalam tubuh ikan (osmoregulasi). Oleh sebab itu, insang sangat peka terhadap pengaruh toksisitas logam. Logam kelas B sangat reaktif terhadap ligan sulfur dan nitrogen, sehingga ikatan logam kelas B tersebut sangat penting bagi fungsi normal metaloenzim dan juga metabolisme terhadap sel. Bilamana metaloenzim disubsitusi oleh logam yang bukan semestinya, maka akan menyebabkan protein mengalami deformasi dan mengakibatkan menurunnya kemampuan katalitik enzim tersebut. Disamping gangguan sistem biokimiawi tersebut perubahan struktur morfologi insang juga terjadi.

Insang meruapakan komponen penting dalam pertukaran gas. Insang terbentuk dari lengkungan tulang rawan yang mengeras, dengan beberapa filamen insang di dalamnya. Tiap-tiap filamen insang terdiri atas banyak lamella. Struktur lamella tersusun atas sel-sel epithel yang tipis pada bagian luar, membran dasar dan sel-sel tiang sebagai penyangga pada bagian dalam. Pinggirian lamella yang tidak menempel pada lengkung insang sangat tipis, ditutupi oleh epitelium dan mengandung jaringan pembuluh darah kapiler.





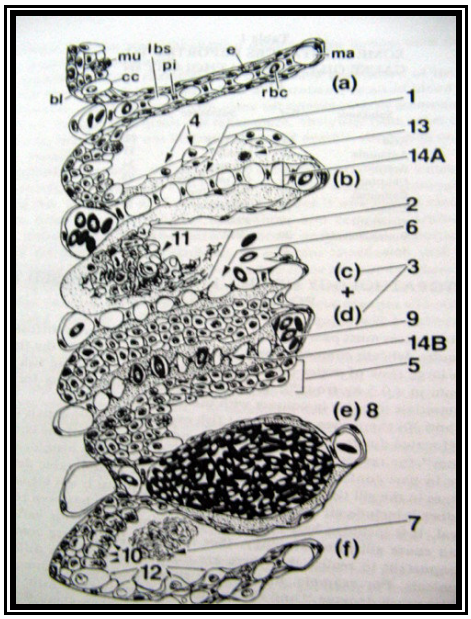
(A) (B)

Gambar 4. A. Struktur eksternal (bagian luar) insang, b. struktur internal (bagian dalam) insang

Affandi dan Tang (2002), mengemukakan bahwa insang pada ikan terbagi dua yaitu insang dalam dan insang luar. Insang dalam seperti insang septal (pada ikan elasmobranchii) dan insang tertutup (ikan teleostei). Tiap lengkung insang mempunyai filament (lamella primer) yang banyak dimana jumlahnya mencapai ratusan. Jumlah filament berbeda untuk tiap ikan tergantung pada beberapa factor seperti ukuran dan luas permukaan tubuh serta habitat hidupnya. Tiap-tiap filament insang mempunyai banyak lamella sekunder dengan dinding tipis. Lamella primer: ephitelium pada lamella primer terdiri dari beberapa lapis sel, terdapat 2 bentuk sel pada lamella ini yaitu : sel monocyte merupakan sel chlorid yang berfungsi dalam pertukaran garam, pembuangan garam pada ikan laut dan pengambilan garam pada ikan tawar, sel monocyte yang berfungsi untuk menghasilkan mucus. Lamella sekunder terdapat pada bagian atas dan bawah permukaan lamella primer dan ditutupi oleh dinding (ephitellium) yang tipis. Ephitellium tersebut terletak di bawah membran yang didukung oleh sel pillar. Jarak antar sel pillar disebut lacunae yang menghubungkan darah arteri afferent dan efferent. Jumlah dari lamella sekunder tergantung pada ukuran luas, luas permukaan tubuh dan kebiasaan hidup ikan.

Sel-sel lain yang ditemukan pada lamella primer dan sekunder adalah melanosit, limposit, makropage, sel endothelid, sel mocous, sel rodlet dan sel chlorid. Sel chlorid terletak antara lamella sekunder pada filamen insang.

Toksisitas logam-logam berat yang melukai insang dan struktur jaringan luar lainnya, dapat menimbulkan kematian terhadap ikan yang disebabkan oleh proses anoxemia, yaitu terhambatnya fungsi pernapasan yakni sirkulasi dan eksresi dari insang. Unsur-unsur logam berat yang mempunyai pengaruh terhadap insang adalah timah, seng, besi, tembaga, kadmium dan merkuri. Percobaan yang dilakukan terhadap ikan *Carasius auratus* menunjukkan bahwa urut-urutan penyerapan logam berat oleh chemoreceptor (*taste bund*) dari ikan adalah merkuri, tembaga, seng, dan timah (Widodo,1980). Perubahan yang terjadi pada filamen insang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Insang yang terkena polutan. *(a-f) lamella, (1) epithelial lifting (2) nekrosis (3) lamella fusion (4) hypertrophy (5) hyperplasia (6) epithelial rupture (7) mucus secresion (8) lamella anuerism (9) vascular congestion (10) mucus cell proliferation (11) Chloride cell damage early (12) chloride cell proliferation (13) leucocyte infiltration of ephitelium (14A) lamella blood sinus dilates (14B) Lamella sinus constricts.* (Heath, 1987)

Ginjal

Ginjal berfungsi untuk filtrasi dan mengekskresikan bahan yang tidak dibutuhkan oleh tubuh, termasuk polutan seperti logam berat yang toksik. Hal tersebut menyebabkan ginjal sering mengalami kerusakan oleh daya toksik logam. Dari perubahan terjadi pada ginjal maka tubulus ginjal lebih sering terjadi kerusakan daripada glomerulus, disamping itu bagian proksimat lebih banyak menderita.

Ginjal ikan baung terletak dibelakang bagian kepala/bagian depan dari perut ikan, bersebelahan dengan jantung ikan dengan beberapa bagian memanjang ke dalam rongga di dasar sirip dada dekat ginjal bagian depan. Jaringan ginjal ikan lebih rapuh dan konsistensinya lebih lunak dari vertebrata lainnya.

Ginjal mempunyai peran utama dalam ekskresi metabolisme, pencernaan dan tempat penyimpanan berbagai unsur, termasuk bahan racun. Histopathology ginjal adalah suatu kunci indikator dari toksisitas bahan kimia dan metode histopatologi merupakan suatu cara yang bermanfaat untuk mempelajari efek

bahan toksik yang terekspose dan bahan toksik yang ada di lingkungan perairan bagi organisme.

Ginjal ikan baung terdiri dari dua bagian yaitu ginjal depan (*anterior kidney*) dan ginjal belakang (*posterior kidney*). Ginjal ini terletak di bagian belakang dari rongga perut pada sisi atas. Ginjal berfungsi sebagai alat pengeluaran sisa metabolisme.