BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Logam Timbal (Pb) dan (Cr)

Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui air minum yang di konsumsi ataupun melalui rantai makanan akuatik (Rajeshkumar, 2018). Logam Pb diklasifikasikan oleh *U.S. Environmental Protection Agency* sebagai senyawa yang sangat beracun atau bersifat karsinogen bagi manusia karena senyawa Pb bukan senyawa yang dibutuhkan oleh organisme dan sistem biologis organisme. Pb dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur pernapasan dan oral (Ghasemidehkordi *et al.,* 2018). Timbal merupakan padatan logam putih abu-abu keperakan-putih yang lembut dengan titik leleh 327,43°C dan titik didih 1740°C. Warna timbal dapat memudar ketika terkena paparan udara. Timbal sangat lunak dan mudah ditempa, mudah dicairkan, dicetak, digulung dan diekstrusi (NPI AU, 2018).

Penggunaan timbal yang luas sebagian besar disebabkan oleh titik lelehnya yang rendah dan ketahanannya terhadap korosi yang sangat baik di lingkungan. Ketika terpapar udara dan air, terbentuk lapisan timbal sulfat, timbal oksida, dan timbal karbonat. Lapisan ini berfungsi sebagai pelindung yang memperlambat atau mencegah korosi (King *et al*., 1995). Senyawa timbal juga digunakan dalam pembuatan korek api, amunisi, kembang api, bahan peledak, keramik, penghambat api untuk plastik dan sebagai katalis untuk produksi industri dan bahan pengawet epoksi (NPI AU, 2018).

Timbal memiliki dua jenis yaitu timbal organik dan timbal anorganik. Timbal organik merupakan jenis timbal yang sangat berbahaya (lebih berbahaya dari timbal anorganik) karena dapat diserap melalui kulit dan sangat beracun bagi otak dan sistem saraf pusat. Tetraethyl dan timbal tetramethyl adalah bentuk timbal organik yang digunakan dalam bahan bakar yang mengandung timbal untuk meningkatkan nilai oktan bahan bakar tersebut. Pembakaran timbal organik ketika ditambahkan

ke bensin sebagai tambahan bahan bakar akan menghasilkan pelepasan timbal ke atmosfer. Namun demikian, penggunaan timbal dalam bahan bakar telah dilarang sejak tahun 1996. Timbal anorganik adalah bentuk timbal yang paling banyak ditemukan pada disekitar lingkungan pada saat ini. Timbal jenis ini biasanya ditemukan pada cat, tanah, debu, kosmetik, mainan anak-anak dan berbagai produk konsumen. Warnanya bervariasi, tergantung pada bentuk kimianya, bentuk yang paling umum untuk timbal jenis ini adalah timbal putih (senyawa timbal karbonat), timbal kuning (timbal kromat, timbal monoksida) atau timbal merah (timbal tetraoksida) (ATSDR, 2007).

Penyebaran timbal di lingkungan sebagian besar disebabkan dari hasil kegiatan antropogenik. Sumber timbal antropogenik meliputi penambangan dan peleburan bijih, pembuatan produk yang mengandung timah, pembakaran batu bara dan minyak, dan pembakaran limbah. Senyawa timbal di lingkungan dapat diubah menjadi senyawa timbal lainnya. Namun demikian, timbal adalah unsur kimia yang tidak bisa dihancurkan. Karena timbal tidak mengalami degradasi, penggunaan sebelumnya terhadap timbal dapat mempengaruhi konsentrasi timbal yang lebih tinggi di lingkungan (ATSDR, 2007).

Kromium adalah unsur yang memiliki titik didih 2.642^{o}C dan tittik leleh 1,90^{o}C. Kromium tidak memiliki bau dan larut dalam pelarut organik (Wilbur *et al.,* 2012). Kromium jarang ditemukan sebagai logam bebas di alam. Kromium oksida membuat logam pasif dari reaksi lebih lanjut dengan oksigen. Inilah sebabnya mengapa Cr tidak menimbulkan korosi dan mengapa ia mempertahankan kemilau logamnya (Jacobs *et al.,* 2004).

Kromium adalah unsur yang muncul secara alami di kerak bumi. Kromium dilepaskan ke lingkungan dari sumber alami dan antropogenik, pelepasan kromium terbesar ke lingkungan berasal dari industri. Industri yang memiliki kontribusi terbesar dalam pelepasan kromium ke lingkungan antara lain industri pengolahan logam, fasilitas penyamakan kulit, industri produksi kromat, industri pengelasan *stainless steel*, dan produksi pigmen ferrokrom dan krom. Kromium (III) adalah salah satu logam yang memiliki sifat esensial yang diperlukan untuk metabolisme

energi. *Institute of Medicine* (IOM) dari *National Research Council* (NRC) menetapkan asupan yang memadai (contohnya, konsentrasi yang biasanya dikonsumsi oleh orang sehat) adalah 20–45 μg kromium (III)/hari untuk remaja dan dewasa. Namun demikian, target biologis untuk efek esensial kromium (III) belum diketahui (ATSDR, 2012).

Kromium (Cr) memiliki keunggulan dalam sifatnya yang anti karat sehingga sering digunakan dalam melapisi logam-logam karena Cr dapat membuat benda yang dilapisinya memiliki umur yang panjang. Sehingga Cr banyak di temukan di industri-industri *stainless steel* sebagai bahan pelapis (Barnhart, 1997). Kromium dikromat merupakan senyawa yang dapat larut di dalam alkohol namun tidak dapat larut di aseton. Kromium dikromat memiliki sifat yang stabil pada suhu yang normal (ATSDR, 2012).

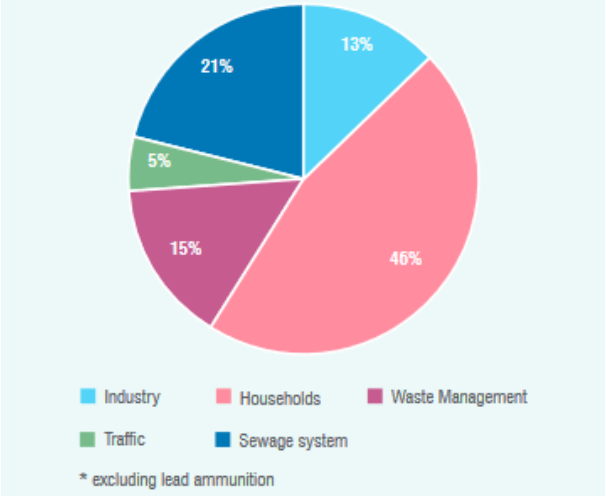
Dalam PP RI No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kualitas air yang akan digunakan sebagai peruntukan air minum, sarana rekreasi dan untuk pembudidayaan ikan tawar tidak mengandung logam Pb dan Cr melebihi 0,003 mg/L dan 0,05 mg/L. Sedangkan air yang digunakan sebagai peruntukan mengairi tanaman tidak mengandung logam Pb dan Cr dengan konsentrasi lebih dari 1 mg/L.

2.2. Keberadaan Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) di Perairan

Logam-logam berat yang ada di perairan mengalami pengendapan dan dapat masuk ke dalam sedimen dengan cara adsorpsi. Adanya logam berat yang terendapkan dalam sedimen akan memberikan dampak negatif bagi organisme yang hidup di dasar sungai seperti kerang-kerangan dan udang. Logam tersebut akan diakumulasi dan akan tertimbun di dalam jaringan tubuh organisme perairan sehingga akan menggangu proses metabolisme dari organisme tersebut (Pallar, 1994).

Logam berat yang ada dalam air laut, akan mengalami peningkatan karena adanya proses biomagnifikasi yang terjadi di lautan. Logam selanjutnya akan berasosiasi dengan sistem rantai makanan, masuk ke tubuh biota perairan, dan

akhirnya ke tubuh manusia yang mengkonsumsinya. Logam yang masuk ke dalam tubuh manusia akan terakumulasi hingga kadar tertentu dan akan menimbulkan keracunan. Keberadaan logam berat di perairan laut dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain adalah dari kegiatan pertambangan, rumah tangga, limbah dan buangan industri dan aliran pertanian (Connel et al., 1995).



Gambar 2.1 Sumber-sumber emisi Pb di Eropa

Sumber : EU CSR 2016

Secara alamiah logam Pb dapat berada di dalam badan air dan dapat muncul akibat aktivitas-aktivitas yang dilakukan oleh manusia. Meningkatnya konsentrasi Pb di air dapat diakibatkan oleh limbah-limbah yang dihasilkan oleh industri-industri di sekitar sungai yang menggunakan Pb dalam proses produksinya (Hidayah, 2012). Sebanyak kurang lebih 95% logam Pb yang terdapat di samudera terbawa oleh air sungai melalui sedimen. Logam Pb cenderung larut di dalam air dengan pH < 5. Logam berat Pb adalah logam berat yang memiliki sifat toksik bagi ikan dan banyak terdapat di perairan (Das *et al.*, 2007).

Kelarutan senyawa timbal di dalam air dapat dipengaruhi oleh pH, kesadahan, salinitas, dan keberadaan bahan humat. Kelarutan timbal yang paling tinggi terjadi pada kondisi air lunak dan asam. Timbal sangat mudah teradsorpsi ke dalam tanah. Umumnya timbal tertahan di lapisan tanah bagian atas dan tidak dapat larut ke bagian lapisan tanah yang lebih dalam dan air tanah. Tumbuhan dan hewan dapat

mengakumulasi timbal, tetapi timbal tidak mengalami biomagnifikasi dalam rantai makanan akuatik atau rantai makanan terestrial (ATSDR, 2007).

Timbal dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain melalui saluran air sebagai ion yang kompleks dan ion yang larut. Transportasi ini sebagian besar dikendalikan oleh pertukaran timbal dengan sedimen dan sifat serta ukuran partikel di permukaan perairan. Waktu tinggal rata-rata partikel biologis yang mengandung timbal telah diperkirakan dua hingga lima tahun (UNEP, 2010).

Kromium yang terdapat di perairan cendurung berakumulasi dan mengendap sehingga konsentrasi Cr pada sedimen dapat ditemukan lebih tinggi angkanya dibandingkan pada air. Dalam beberapa penelitian, angka konsentrasi Cr telah mencapai 0,1-0,15 ppm pada biota air yang di teliti (Suprapti, 2008). Senyawa kromium (III) larut dalam air dan dapat ditemukan dalam badan air sebagai kromium (III) kompleks yang larut, sedangkan senyawa kromium (VI) mudah larut dalam air (ATSDR, 2012).

Kadar logam berat di air dapat dipengaruhi oleh kadar logam di sedimen. Kadar logam dalam sedimen permukaan lebih tinggi dibandingkan dalam air laut. Hal ini terjadi karena logam berat mengalami proses pengenceran dalam air dan terendapkan sehingga terjadi akumulasi dalam sedimen. Rendahnya kadar logam berat dalam air laut, bukan berarti bahan cemaran yang mengandung logam berat tidak berdampak negatif terhadap perairan (Permanawati, *dkk.*, 2013).

Dari hasil penelitian Diantariani (2006) menyatakan bahwa kandungan logam Pb yang tinggi kemungkinan berasal dari TPA maupun akibat dari aktivitas pembuangan limbah pertanian yang ada disekitar sungai. Beberapa titik sampling juga memiliki konsentrasi Pb dan Cr yang melebihi batas baku mutu yang disebabkan pada lokasi tersebut mulai mendapatkan masukan bahan pencemar dari industri tekstil. Diduga limbah dari industri tekstil tersebut mengandung Pb dan Cr.

Berdasarkan laporan penelitian El-Sorogy (2015), Teluk Arab telah terkontaminasi oleh logam berat seperti Fe, Cu, Pb, Mn, Cd, Se, As, Co, B, Cr, Hg, dan Mo yang mengakibatkan gastropoda dan bivalvia di sepanjang perairan tersebut

juga terkontaminasi oleh logam berat. Sebagian wilah daratan di Teluk Arab merupakan industri minyak dan petrokimia, sehingga hal ini dapat menyebabkan terjadinya kontaminasi tersebut. Logam berat secara alami telah terdapat di alam, namun masukan dari luar lingkungan juga dapat meningkatkan konsentrasi logam di perairan. Masukan terbesar logam dapat berasal dari aktivitas manusia (Suryono, *dkk.*, 2017).

2.3. Toksisitas dan Dampak Logam Pb dan Cr

Paparan terhadap timbal dan bahan kimia timbal dapat terjadi melalui jalur inhalasi, jalur oral, jalur dermis, penyerapan dari benda asing bertimbal dan dapat melalui rute plasenta. Persentase penyerapan timbal melalui jalur oral oleh anak-anak lebih besar daripada oleh orang dewasa. Ketika timbal telah berada di dalam aliran darah, timbal akan didistribusikan ke tiga kompartemen; darah, jaringan mineral, dan jaringan lunak. Pada saat stres (terutama saat masa kehamilan dan menyusui), tubuh dapat memobilisasi simpanan timbal, sehingga meningkatkan konsentrasi timbal di dalam darah. Waktu paruh timbal dalam darah orang dewasa diperkirakan sekitar 28 hari. Tubuh akan menimbun timbal seumur hidup dan biasanya akan melepaskannya dengan sangat lambat (ATSDR, 2007).

Sistem saraf adalah yang paling sensitif untuk paparan timbal pada anak-anak. Toksisitas timbal dapat mempengaruhi setiap sistem organ. Pada tingkat molekuler, mekanisme toksisitas melibatkan proses biokimiawi. Hal ini termasuk kemampuan timbal untuk menghambat atau meniru aksi kalsium (yang dapat memengaruhi proses yang bergantung pada kalsium atau yang terkait) dan berinteraksi dengan protein (termasuk yang dengan gugus sulfhidril, amina, fosfat, dan karboksil). Afinitas tinggi timbal untuk gugus sulfhidril membuatnya sangat beracun bagi berbagai sistem enzim (ATSDR, 2017).

Dalam penelitian Cecil (2008) paparan timbal memiliki keterkaitan dengan berbagai jenis kerusakan otak seperti :

1. Permasalahan berpikir (kognisi);

2. Kesulitan mengorganisir tindakan, keputusan, dan perilaku;
3. Perilaku sosial yang tidak normal (termasuk agresi); dan
4. Kesulitan dalam mengoordinasikan gerakan halus, seperti mengambil benda kecil (kontrol motorik halus).

Kromium (VI) yang masuk di dalam tubuh manusia akan diubah menjadi kromium (III). Sebagian besar kromium akan keluar dari dalam tubuh melalui urin dalam waktu satu minggu. Namun beberapa memiliki kemungkinan akan tetap berada di dalam sel selama beberapa tahun bahkan lebih lama. Pada hewan uji yang digunakan di laboratorium, senyawa kromium (VI) telah terbukti dapat menyebabkan tumor pada lambung, saluran usus, dan paru-paru (ATSDR, 2012).

Efek kesehatan/karsinogenik dari logam kromium (Cr) berkaitan erat dengan keadaannya saat oksidasi logam pada waktu terjadinya paparan. Senyawa Cr-III dan Cr-IV dianggap paling berpotensi secara biologis (US Department of Health, 1993). Meningkatnya kadar logam yang beracun di dalam tubuh manusia dapat menyebabkan toksisitas akut dan kronis, seperti terjadinya gangguan pada ginjal dan tulang hingga dapat meningkatnya risiko terkena kanker (Jomova, 2011). IOM melaporkan bahwa konsentrasi kromium di plasma rata-rata 2–3 nmol/L (setara dengan 0,10–0,16 μg/L) dan ekskresi kromium melalui urin rata-rata 0,22 μg/L atau 0,2 μg/hari (ASTDR, 2012).

Kromium (IV) dapat berkurang di dalam lambung menjadi kromium (III), sehingga dosis Kromimum (IV) yang diserap akibat tertelan akan mengalami penurunan. Penyerapan terhadap Kromium (IV) juga dipengaruhi oleh status gizi masing-masing individu. Penyerapan akan lebih tinggi ketika asupan makanan rendah. Kromium (III) dan Kromium (IV) dapat masuk mealui kulit manusia hingga batas tertentu, terutama jika memiliki kulit yang bermasalah (ASTDR, 2012).

Kromium yang diserap dapat menyebar hampir ke semua jaringan dengan konsentrasi tertinggi ditemukan di ginjal dan hati. Tulang juga merupakan tempat utama kromium berkumpul dan dapat berkontribusi terhadap kinetika retensi jangka panjang kromium. Kromium (VI) dalam darah akan masuk ke dalam sel darah

merah dimana akan mengalami reduksi dan menjadi kompleks yang stabil dengan hemoglobin dan protein intraseluler lainnya yang dipertahankan untuk sebagian kecil dari masa hidup sel darah merah. Kromium yang diserap dapat di transfer ke janin melalui plasenta dan di transfer ke bayi melalui ASI. Kromium yang terserap akan dikeluarkan tubuh melalui urin. Kromium telah terbukti disekresi dalam empedu hewan setelah injeksi parenteral kromium (VI) atau kromium (III) (mis., Intravena) (ASTDR, 2012).

Ketika hewan terpapar dengan kromium akat sulit untuk mengindikasikannya, namun ketika hewan menunjukkan gejala berupa hiperglikemia, penurunan berat badan, peningkatan kadar kolesterol, terdapat plak aorta, kornea mata menjadi keruh, mengalami gangguan kesuburan dan kematian, maka harus dilakukan pengamatan lebih lanjut terhadap hewan tersebut. Sifat kromium sebagai elemen esensial sejati atau agen farmakologis masih dalam perdebatan (ASTDR, 2012).

Dalam penelitian Dhara (2014) menyebutkan bahwa Kromium (VI) dapat terikat dengan protein dan terlibat dalam transportasi setelah melewati membran sel melalui saluran ion sulfat. Kemudian logam akan terakumulasi di berbagai organ. Pola umum distribusi Cr (VI) pada ikan adalah sebagai berikut: Insang> Hati> Kulit> Otot. Logam berat akan terakumulasi dalam tubuh ikan dapat berasal baik dari air di sekitarnya maupun dari makanan yang ada di lingkungan. Konsentrasi kromium di sungai dan danau dinyatakan berkisar antara 1 hingga 10 µg/L dan rekomendasi EPA untuk konsentrasi yang diizinkan adalah 50 hingga 100 µg Cr/L untuk perlindungan kesehatan manusia dan kualitas air (Said *et al.,* 1992).

Dalam penelitian Ferraro *et al*., (2004) dan Ramsdorf *et al.,* (2008) menetapkan bahwa asetat timbal menyebabkan kerusakan DNA. Pada penelitian Osman *et al.,* (2009) memperoleh hasil bahwa asetat timbal mengindikasi perubahan histopatologis pada insang, hati, ginjal dan limpa *Oreochromis niloticus*. Hasil studi dari Mobarak dan Sharaf (2010) mengungkapkan bahwa paparan timbal asetat mengakibatkan berbagai perubahan histopatologis pada insang, hati, hepatopankreas, pankreas, lambung dan usus *Poecilia latipinna*.

2.4. Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

Ikan nila (Oreochromis niloticus) (Gambar 2.2) termasuk ke dalam jenis biota pemakan segala jenis makanan (omnivora) sehingga ikan nila dapat saja terpapar oleh logam Pb melalui makanan yang dimakan, karena logam berat Pb termasuk logam yang cenderung membentuk senyawa kompleks dengan bahan-bahan organik yang bisa saja terkandung di dalam air limbah (Sukiya, 2004).

Gambar 2.2 Ikan Nila *(Oreochromis niloticus)*

Sumber : FIMSEA

Ikan nila merupakan jenis ikan yang mudah untuk dibudidaya karena dapat beradaptasi dengan cepat pada lingkungan yang baru dan tahan terhadap serangan penyakit. Ikan nila dapat bertahan hidup dan berkembang biak dengan baik (Ardita, *dkk*, 2015). Selain itu, ikan nila juga mudah beradaptasi terhadap fluktuasi kualitas air dibandingkan dengan ikan mas, sehingga budidaya ikan nila lebih banyak diminati (Erlania *et al*., 2010).

Ikan nila dapat bertahan hidup hingga lebih dari 10 tahun (GISD, 2012). Makanan dan suhu air menjadi faktor utama yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup ikan nila (Kapetsky *et al.*, 1997). Pertumbuhan ikan nila akan akan optimal pada suhu 28-36°C (FAO, 2012). Ikan nila dapat tumbuh dengan subur di segala macam habitat air kecuali di sungai dengan aliran air yang deras

serta faktor utama yang membatasi penyebarannya adalah salinitas dan suhu air (Shipton *et al.*, 2008).

Dari hasil monitor dalam penelitian yang dilakukan Sadana (2013) dijelaskan bahwa ikan nila dapat bertahan hidup pada konsentrasti logam kromium (Cr), BOD dan COD yang tinggi yang dihasilkan dari efluen IPAL. Ikan nila sebagai indikator kualitas air memberikan beberapa gejala perubahan perilaku terhadap tingginya pencemar yang masuk ke badan air. Kualitas air yang buruk menyebabkan menurunnya respon ikan terhadap makanan ketika diberi pakan sehingga menyebabkan berat ikan yang terpapar pencemar yang tinggi lebih kurus daripada yang terpapar pencemar dengan konsentrasi yang rendah. Berdasarkan penelitian Jakfar (2014) dijelaskan bahwa kadar logam timbal (Pb) yang terdapat pada tubuh ikan dapat bervariasi dapat dipengaruhi oleh lokasi ikan itu hidup serta kondisi di sekitar lokasi yang terdapat aktivitas manusia baik itu dari berbagai industri atau domestik yang dapat mempengaruhi kualitas air.

Menurut FAO (2012), masalah-masalah penyakit utama yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan nila adalah yang termasuk dalam tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Penyakit-penyakit yang dapat Menyerang Ikan Nila

Penyakit	Agen Penyakit	Jenis	Gejala Penyakit
Motile Aeromonas Septicaemia (MAS)	*Aeromonas hydrophila* & spesies yang terkait	Bakteri	Kehilangan keseimbangan; berenang lesu; sirip & kulit yang meradang; mata melotot; kornea buram menjadi; perut bengkak yang berisi cairan keruh atau berdarah; kronis dengan mortalitas harian rendah
Vibriosis	*Vibrio anguillarum* & spesies lainnya	Bakteri	Sama seperti MAS; disebabkan oleh *stress* & kualitas air yang buruk
Columnaris	*Flavobacterium columnare*	Bakteri	Sirip berjumbai dan/atau terdapat bercak keputihan hingga abu-abu yang tidak teratur pada kulit dan/atau sirip pucat; bercak putih pada insang

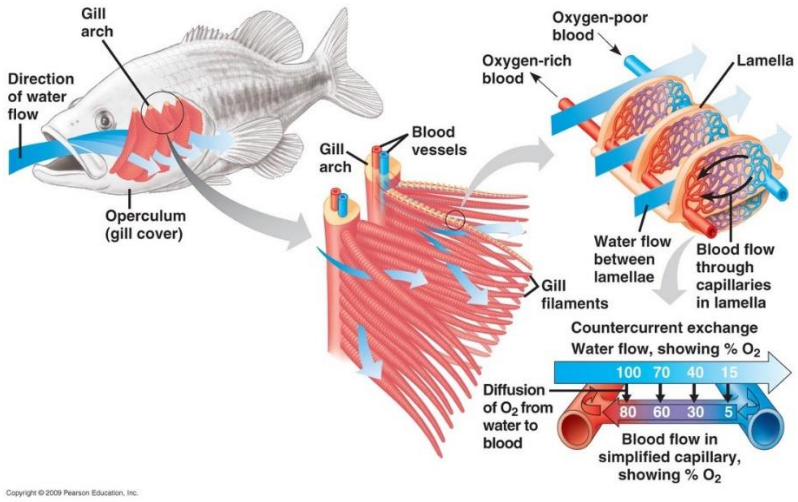
Edwardsiellosis	*Edwardsiella tard*	Bakteri	Cairan berdarah di rongga tubuh; warna hati menjadi pucat atau berbintik-bintik dan bengkak, limpa berwarna merah gelap dan bengkak, ginjal menjadi lunak
Streptococcosis	*Streptococcus iniae* & *Enterococcus sp.*	Bakteri	Berenang lesu atau tidak menentu; terdapat pigmentasi dengan warna gelap pada kulit; pendarahan di mata; distensi perut; pendarahan menyebar di operkulum, sekitar mulut, anus & pangkal sirip; limpa berwarna gelap; menyebabkan mortalitas yang tinggi.
Saprolegniosis	*Saprolegnia parasitica*	Jamur	Berenang lesu; koloni putih, abu-abu atau coklat yang menyerupai jumbai kapas; lesi terbuka di otot
Ciliates	*Ichthyophthirius multifiliis; Trichodina* & lainnya	Parasit protoza	Terjadi di insang atau kulit
Monogenetic trematodes	*Dactylogyrus* spp.*; Gyrodactylus* spp.	Parasit protozoa	Terjadi di permukaan tubuh, insang atau kulit

2.5. Uptake Logam pada Ikan

Fase uptake dan waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi stabil dapat diperoleh dari prediksi berdasarkan pengalaman dari studi sebelumnya Uptake harus dijalankan selama 28 hari kecuali dapat ditunjukkan bahwa keseimbangan telah tercapai sebelumnya. Jika kondisi stabil belum tercapai selama 28 hari, fase penyerapan harus diperpanjang, dengan pengukuran lebih lanjut, sampai tercapai kondisi stabil atau 60 hari, mana yang lebih pendek. Kemudian fase depurasi dapat dimulai (EPA, 1996).

Ikan merupakan makanan yang banyak diminati untuk dikonsumsi sehari-hari karena nutrisi yang terkandung pada ikan. Namun demikian, mengonsumsi ikan juga dapat berisiko karena ikan merupakan tingkat teratas pada rantai makanan akuatik dan ikan dapat mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya yang diserap dari makanan yang dikonsumsi ikan maupun dari perairan tempat ikan itu hidup

(Rajeshkumar, 2018). Berdasarkan penelitian Salami (2008), kandungan logam tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) terakumulasi di organ hati ikan dengan konsentrasi yang tinggi. Ikan terpapar oleh logam Cr melalui jalur oral yang diserapnya dari makanan yang dimakan dan juga melalui jalur pernapasan sehingga insang juga menjadi salah satu tempat berakumulasinya logam pada tubuh ikan. Konsentrasi Cr dengan angka yang sangat tinggi di temukan pada organ hati (Sfakianakis et al., 2015). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sadana (2013) dijelaskan bahwa ikan nila diketahui tidak mengalami peradangan, perubahan warna dan nekrosis pada insang meskipun telah terpapar oleh logam Cr. Hal ini menunjukan bahwa kandungan logam Cr di perairan tidak mempengaruhi kondisi organ respirasi ikan.



Gambar 2.3 Mekanisme Uptake pada Ikan

Sumber : *Weebly*

Mekanisme uptake kontaminan pada ikan dapat terjadi melalui oleh insang, langsung melalui kulit dari air dan penyerapan dari makanan yang terkontaminasi atau partikel tersuspensi dalam air kemudian menuju ke sistem pencernaan. Kontaminan sebagian besar diserap oleh insang. Jika dibandingkan penyerapan melalui kulit, jumlah penyerapan melalui kulit tidak signifikan (van der *et al.*, 2003). Dari **Gambar 2.3** dapat dilihat bahwa air masuk melalui mulut ikan dan akan melewati insang. Insang merupakan organ respirasi utama pada ikan. Insang bekerja dengan cara difusi gas-gas respirasi (oksigen dan karbondioksida) antara

darah dan air. Oksigen yang terlarut di dalam air akan diabsorbsi ke dalam kapiler-kapiler insang dan difiksasi oleh hemoglobin untuk selanjutnya didistribusikan keseluruh tubuh. Karbondioksida kemudian dikeluarkan dari sel dan jaringan untuk dilepaskan ke air di sekitar insang (Saputra *dkk.*, 2013). Ikan dapat mengasimilasi logam dengan menelan partikel atau makanan yang ada di dalam air, ikan juga dapat melakukan pertukaran ion logam terlarut melalui membran lipofilik, misalnya insang (Mendil et al., 2005).

Timbal akan masuk secara langsung ke dalam tubuh ikan melalui insang karena insang sangat peka terhadap pengaruh toksisitas logam (Purnomo, *dkk.*, 2007). Ion Pb^{2+} dapat berikatan dengan eritrosit dan dapat ditransfer melalui darah menuju ke jaringan lunak, termasuk ginjal, hati, otak, otot, jantung, dan limpa (Meyer *et al.*, 2008). Paparan kronis ikan terhadap Pb^{2} dapat menyebabkan gangguan pada homeostasis Ca^{2+} dan kelainan neurologis (Mager, *et al.*, 2008).

Sumber utama paparan manusia terhadap logam Pb dapat berasal dari uptake Pb oleh makanan yang dikonsumsi (EFSA, 2012). Pb dapat diserap oleh dan menyebar menuju organ-organ seperti jantung, hati, ginjal, otak, paru-paru, otot dan dan tulang-tulang. Merujuk dari ATSDR (2007) rata-rata ditemukannya Pb di dalam tubuh orang dewasa sebanyak 94% dan pada anak-anak 73% terdapat di tulang. Logam Pb yang terserap oleh ikan akan menyebar ke jaringan otot (daging) yang dapat berikatan dengan senyawa *metallothionein* (MTN) di dalam tubuh ikan yang bersifat permanen di dalam sel, tidak dapat diregulasi dan tidak dapat di eksresikan sehingga bersifat bioakumalasi (Sukiya, 2004).

Menurut beberapa literatur, bioakumulasi logam oleh ikan dan pendistribusi logam ke organ selanjutnya sangat spesifik. Selain itu, banyak faktor dapat memengaruhi penyerapan logam seperti jenis kelamin, usia, ukuran, siklus reproduksi, pola berenang, perilaku makan, dan lingkungan hidup (misalnya, lokasi geografis). Oleh karena itu, ikan dianggap sebagai salah satu indikator terbaik kontaminasi logam berat di perairan (Sivakumar *et al.*,2018).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sukiya (2004) dijelaskan bahwa meningkatnya kandungan logam Pb pada air limbah berbanding lurus dengan meningkatnya kandungan Pb pada insang dan daging pada sampel ikan yang diteliti. Hal ini dapat disebabkan oleh kemungkinan uptake ikan yang menjadi lebih besar. Akumulasi logam Pb yang terdapat pada daging ikan mengalami kenaikan sejalan dengan berjalannya bulan pengamatan yang terjadi karena proses adsorbsi logam Pb oleh ikan melalui kutikula dan *tractus digestivus*.

Namun demikian, bioakumulasi logam berat dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor lainnya seperti jenis kelamin, uptake dan eliminasi kinetis dari logam yang masuk kedalam tubuh, pada orang anak-anak akumulasi logam berat terjadi karena metabolisme dan uptake logam yang tinggi serta pada orang dewasa akumulasi logam terjadi karena metabolisme yang rendah (Blagojevic *et al.,* 2012). Peningkatan kadar Pb pada ikan diperoleh dari ekosistem air tawar yang dipengaruhi oleh pertanian, peternakan unggas, industri tekstil, dan kegiatan industri lainnya (Rashed et al., 2001).

Dengan berjalannya waktu, akumulasi logam berat dalam yang terdapat di dalam sedimen dapat menimbulkan akumulasi logam pada tubuh biota yang hidup dan mencari makan di air maupun di sekitar sedimen atau dasar perairan. Hal ini selain membahayakan biota perairan, juga dapat berbahaya pula bagi manusia yang mengkonsumsi biota tersebut (Permanawati, *dkk.,* 2013).

2.6. Depurasi Logam pada Ikan

Depurasi atau dapat disebut juga dengan ‘pemurnian’ adalah teknik yang digunakan untuk menghilangkan kontaminandari organisme yang terkontaminasi sedang dengan cara menempatkannya dalam tangki air untuk periode waktu tertentu. Periode depurasi dapat berkisar dari beberapa jam hingga beberapa hari. Hal ini biasanya dilakukan karena diwajibkan oleh regulasi regional, nasional atau lokal. Depurasi dilakukan karena adanya kontaminan kimia, seperti logam berat, pestisida dan zat petrokimia yang memiliki potensi bahaya di area tertentu.

Umumnya, semua spesies dapat melakukan depurasi untuk menghilangkan kontaminan dari dalam tubuh (FAO, 2008).

Logam yang terakumulasi di dalam tubuh ikan adalah selisih dari penyerapan logam dan kemampuan ikan untuk mendepurasi logam. Perbedaan metabolisme pada ikan yang berukuran kecil dan besar menjadi salah satu faktor kandungan logam yang diserap oleh ikan. Pada ikan dengan ukuran tubuh yang lebih besar, logam berat yang terdapat di dalam tubuhnya lebih kecil yang dapat dipengaruhi oleh proses pengenceran logam yang masuk ke dalam tubuh ikan melalui proses pertumbuhan, sehingga semakin bertumbuhnya ukuran tubuh ikan, maka akan semakin berkurang pula peningkatan logam berat di dalam tubuh ikan (Nurrachmi, 2010).

Hasil dari depurasi sendiri dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti perancangan sistem, kualitas air awal (yang dipaparkan), tingkat oksigenasi dan laju aliran, salinitas, suhu, jenis dan jumlah polutan serta lamanya waktu paparan (Barile et al., 2009). Konstanta laju depurasi biasanya ditentukan dari kurva depurasi yaitu plot penurunan konsentrasi zat uji dalam ikan dengan waktu (EPA, 1993).

Rute depurasi dari ikan umumnya melalui ekskresi cabang, empedu, urin dan tinja (Kim *et al.,* 2011). Dari hasil penelitian Soares et al., (2004) sejak hari ke-15 periode depurasi menggunakan hewan uji *Tilapia rendalli*, konsentrasi MCYSTs dalam hati menurun sekitar tiga kali lebih sedikit daripada saat periode akumulasi. Berdasarkan hasil penelitian menggunakan hewan uji *A. nobilis* terdapat perbedaan yang signifikan antara konsentrasi residu Cr^{6+} pada otot setelah 14 hari depurasi dibandingkan dengan kelompok kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk depurasi yang maksimal. Selama periode depurasi tingkat depurasi adalah 53,448%, 66,596%, dan 49,026% untuk otot dorsal, otot ventral, dan kepala dengan konsentrasi paparan adalah 5 mg/L. Hasilnya menunjukkan bahwa begitu logam masuk ke dalam kepala ikan, lebih sulit untuk dihilangkan dan mungkin berisiko jika di konsumsi oleh manusia (Yin *et al.,* 2019).

2.7. Penelitian Terdahulu

Berikut adalah beberapa hasil penelitian-penelitian terdahulu yang dapat menjadi referensi dalam penelitian ini.

Tabel 2.2 Penelitian-penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Hasil Penelitian
1.	Ramoliya (2007)	Laju bioakumulasi Cr (VI) bervariasi pada organisme dan jaringan yang berbeda. Konsentrasi Cr (VI) pada berbagai jaringan *C. batrachus* mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya durasi paparan.
2.	Filho (2017)	$Pb(NO_3)$ adalah garam paling beracun untuk spesies *Phalloceros caudimaculatus*, diikuti oleh kadmium nitrat, seng sulfat dan kalium dikromat.
3.	Uzairu (2008)	Tingginya konsentrasi logam berdasarkan hasil penelitian pada organ *Oreachromis niloticus* berturut-turut adalah : Pb, Ni, Zn dan Cu: hati > insang > tulang > otot; Cr: insang > hati > tulang > otot; dan Cd: hati > insang> tulang ≈ otot.
4.	Yi (2012)	Konsentrasi logam yang terkandung di dalam ikan bervariasi. hal tersebut dapat dipengaruhi oleh beban pencemaran dari masing-masing lokasi selain itu juga sangat dipengaruhi oleh akumulasi sedimen di setiap area.
5.	Chen (2018)	Ikan yang terpapar Cr dengan konsentrasi 8 mg/L mengalami penurunan 34% konsentrasi Cr setelah 2 hari masa depurasa dan mengalami penurunan sebanyak 25% selama periode 7-14 hari.
6.	Abdel-Baki (2011)	Konsentrasi rata-rata Cr dalam organ (ikan nila) hati, insang, otot dan ginjal masing-masing adalah 0,328, 0,386, 0,230 dan 0,512 ppm. Penelitian ini menunjukkan bahwa ginjal mengakumulasi konsentrasi Cr yang paling tinggi sedangkan otot mengakumulasi dengan konsentrasi terendah.