

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerang Hijau

Menurut Eshmat, *et al.* (2014), Kerang hijau (*Perna viridis* L) merupakan salah satu jenis kerang yang digemari masyarakat, memiliki nilai ekonomis, dan kandungan gizi yang sangat baik untuk dikonsumsi. Kerang hijau (*Perna viridis* L.) mempunyai potensi besar untuk dimanfaatkan, karena populasinya cukup besar di Perairan Indonesia. Volume produksi kerang-kerangan dari tahun 2003-2007 berturut-turut adalah sebesar 2.869 ton, 12.991 ton, 16.348 ton, 18.896 ton dan 15.623 ton. Budidaya kerang hijau relatif mudah dilakukan di perairan pantai.

2.1.1 Biologi Kerang Hijau

Kerang hijau (*Perna viridis* L) merupakan biota yang hidup pada wilayah litoral (pasang surut) dan sub litoral yang dangkal. Kerang hijau dapat tumbuh pada perairan teluk, estuari, sekitar mangrove dan muara, dengan kondisi perairan yang memiliki substrat pasir berlumpur, dengan cahaya dan pergerakan yang cukup, serta kadar garam yang tidak terlalu tinggi (Setyobudiandi, 2000). Kerang (terutama kerang hijau) menempel pada substrat menggunakan benang-benang *byssus* yang dihasilkan oleh kelenjar *byssal* pada bagian kaki (Fernanda, 2012).

Kerang Hijau (*Perna viridis*) termasuk binatang lunak (moluska) yang hidup di laut, bercangkang dua dan berwarna hijau. Kerang hijau merupakan organisme yang termasuk kelas Pelecypoda. Golongan biota yang bertubuh lunak (mollusca). Kerang hijau merupakan hewan dari kelas Pelecypoda kelas ini selalu mempunyai cangkang katup sepasang maka disebut sebagai bivalvia. Hewan ini disebut juga yaitu pelecys yang artinya kapak kecil dan podos yang artinya kaki. Jadi Pelecypoda berarti hewan berkaki pipih seperti mata kapak.

Hewan kelas ini pun berinsang berlapis-lapis maka sering disebut Lamelli branchiata (Kastawi, 2008).

Cangkang dihubungkan oleh engsel elastis. Apabila cangkang terbuka kaki keluar untuk bergerak. Untuk menutup cangkang dilakukan oleh otot transversal yang terletak di akhir kedua ujung tubuh di bagian dekat dorsal, yaitu otot aduktor anterior dan posterior. Cangkok berjumlah dua (sepasang) ada di bagian anterior dan umbo (bagian yang membesar/menonjol) terdapat dibagian posterior (punggung). Adanya otot-otot aduktor ini menyebabkan dua cangkang dapat membuka dan menutup. Pada umumnya hidup di perairan baik air tawar maupun air laut yang banyak mengandung zat kapur yang digunakan untuk membentuk cangkangnya (Saquadah, 2010)

Alat pernapasan kerang berupa insang dan bagian mantel. Insang kerang berbentuk W dengan banyak lamella yang mengandung banyak batang insang. Pertukaran O_2 dan CO_2 terjadi pada insang dan sebagian mantel. Mantel terdapat di bagian dorsal meliputi seluruh permukaan dari cangkang dan bagian tepi. Antara mantel dan cangkang terdapat rongga yang di dalamnya terdapat dua pasang keping insang, alat dalam dan kaki. Alat peredaran darah sudah agak lengkap dengan pembuluh darah terbuka. Sistem pencernaan dari mulut sampai anus (Saquadah, 2010). Sistem sarafnya terdiri dari 3 pasang ganglion yang saling berhubungan yaitu ganglion anterior terdapat di sebelah ventral lambung, ganglion pedal terdapat pada kaki, ganglion posterior terdapat di sebelah ventral otot aduktor posterior.

2.1.2 Klasifikasi Kerang Hijau (*Perna viridis L.*)

Kerang hijau merupakan organisme yang termasuk golongan biota yang bertubuh lunak (mollusca), bercangkang dua (bivalvia), insang berlapis

(lamellibrachiata), berkaki lapak (pelecypoda) dan hidup dilaut (Asikin, 1982).

Taksonomi kerang hijau menurut Asikin (1982) :

Filum : Mollusca
 Kelas : Pelecypoda (Lamellibranchia, Bivalvia)
 Ordo : Filibrachia
 Famili : Pernaidae
 Genus : Perna
 Spesies : *Perna viridis* L.



Gambar 2. Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) (Dokumentasi pribadi, 2016)

Jika dibuat sayatan memanjang dan melintang, tubuh kerang akan tampak bagian-bagian sebagai berikut. Paling luar adalah cangkang yang berjumlah sepasang, fungsinya untuk melindungi seluruh tubuh kerang. Mantel, jaringan khusus, tipis dan kuat sebagai pembungkus seluruh tubuh yang lunak. Pada bagian belakang mantel terdapat dua lubang yang disebut sifon. Sifon atas berfungsi untuk keluarnya air, sedangkan sifon bawah sebagai tempat masuknya air. Insang, berlapis-lapis dan berjumlah dua pasang. Dalam insang ini banyak mengandung pembuluh darah. Kaki pipih. Bila akan berjalan kaki dijulurkan ke anterior. Di dalam rongga tubuhnya terdapat berbagai alat dalam seperti saluran pencernaan yang menembus jantung, alat peredaran, dan alat ekskresi (ginjal) (Kastawi, 2008).

2.1.3 Makanan dan Kebiasaan Makan Kerang

Berdasarkan cara memperoleh makanannya, moluska bivalvia digolongkan dalam kelompok *filter feeder*. Apabila makanan diperoleh dengan menyaring fitoplankton dari perairan yang ditempati, maka disebut sebagai *suspension feeder*. Apabila makanan atau bahan organik diambil dari substratum tempat hidupnya maka disebut sebagai *deposit feeder* (Setyobudiandi, 2000). Kerang merupakan makhluk "filter feeder" yang mengakumulasi bahan-bahan yang tersaring di dalam insangnya. Dalam prosesnya bakteri dan mikroorganisme lain yang ada di sekelilingnya dapat terakumulasi dan mencapai jumlah yang membahayakan untuk dikonsumsi (Leslie dan lee 1984 dalam Kasry 2003).

Kerang hijau (*Perna viridis* L.) dewasa dapat menghasilkan telur lebih kurang 1,2 juta. Pemijahan ini terjadi akibat adanya rangsangan alami seperti perubahan suhu dan salinitas. Sel telur yang telah dibuahi akan berkembang dan menetas menjadi larva. Larva kerang hijau bersifat planktonik, yaitu melayang di air dan terbawa arus selama dua minggu. Larva akan mengalami beberapa kali perubahan bentuk (metamorphosa). Pada akhir stadia larva, kerang hijau akan mengalami perubahan cara hidup dari planktonik menjadi *sessil* (tinggal diam dan menempel). Pada saat itu apabila larva tidak mendapatkan substrat maka akan segera mati.

Kecepatan tumbuh kerang hijau berkisar antara 0,7-1,0 cm per bulan. Menurut Roberts (1976) kelas bivalvia telah digunakan oleh ahli ekologi dalam menganalisis pencemaran air. Hal ini karena sifatnya yang menetap dan cara makan pada umumnya *filter feeder*, sehingga mempunyai kemampuan mengakumulasi bahan-bahan polutan seperti logam berat.

2.1.4 Mekanisme Penyerapan Makanan oleh Kerang

Kerang (*Bivalvia*) memperoleh makanan dengan cara *filter feeder* dan hidupnya menetap (*sessil*) di habitatnya (Wulandari *et al.*, 2009), proses penyaringan air dimulai dari sifon inkuren dan tersaring di insang (Barnes, 1968 dalam Abdulgani *et al.*, 2008). Dalam kebiasaan makan, suatu makanan bisa dimakan atau ditolak, maka kekerangan mendeteksinya melalui sistem sensor syaraf (Hughes, 1986 dalam Setyono, 2006). Ketika makanan yang disaring oleh bivalvia dari perairan berupa fitoplankton, maka disebut *suspension feeder*, dan apabila berupa bahan organik yang diambil dari substrat maka disebut *deposit feeder* (Setyobudiandi, 2000).

Menurut Barnes (1986), proses penyaringan pada bivalvia masuk melalui sifon inkuren dan tersaring di insang. Penyusun utama lapisan membran insang adalah epitel pipih selapis dan berhubungan langsung dengan sistem pembuluh dan diduga logam berat yang masuk bersamaan dengan partikel makanan mengalami difusi melalui membran insang dan terbawa aliran darah. Insang bivalvia, termasuk *Perna viridis* mempunyai mucus atau lendir yang penyusun utamanya adalah glikoprotein. Sehingga diduga logam tersebut terikat menjadi MT karena penyusun utamanya adalah sistein yaitu protein yang tergolong dalam gugus sulfidril (-SH) yang mampu mengikat logam. Oleh karena sifat mucus insang yang mengalami regenerasi, maka logam berat (termasuk kadmium) yang telah terikat pada mucus insang turut terlepas dari tubuhnya (Overnell dan Sparla, 1990). Berlanjut masih terkait dengan mekanisme filter-feeder, Menurut Pechenik (2000), aliran air laut akan berlanjut menuju ke labial palp dimana pada bagian tersebut akan melalui beberapa proses penyaringan dengan cilia-cilia. Partikel yang berukuran kecil akan lolos, sementara yang berukuran besar akan dikeluarkan kembali melalui sifon-inkuren dalam bentuk pseudofeces.

Kerang hijau makan dengan cara menyaring makanan yang terlarut di dalam air (filter feeder) (Riani, 2004). Kerang hijau digolongkan dalam kelompok filter feeder, karena kerang hijau memperoleh makanan dengan cara menyaring partikel-partikel atau organisme mikro yang berada dalam air dengan menggunakan sistem sirkulasi. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Vakily (1989) yang menyatakan semua bivalva *lamelli branch* termasuk *filter feeder*. Cilia khusus terletak antara filamen insang yang berfungsi menghasilkan aliran air yang memindahkan air ke dalam bagian inhalent pada mantle cavity (rongga mantel) dan ke arah atas ke dalam rongga exhalent (Martin, 2005).

Partikel makanan atau material tersuspensi lainnya yang berukuran lebih besar dari ukuran tertentu disaring dan air oleh cilia insang dan dihimpun pada bagian rongga inhalent berhadapandengan lamellae insang. Material ini kemudian dipindahkan oleh cilia lainnya ke arah tepi bagian ventral insang atau di bagian dasar organ yang berbentuk huruf-W dimana terletak alur makanan (food grooves). Setelah berada di food grooves, makanan bergerak ke arah depan hingga mencapai palps, yang berada di sisi mulut. Material berukuran halus dibawa oleh cilia ke dalam mulut. Partikel yang lebih kasar dihimpun di tepi palps dari secara periodik dikeluarkan oleh proses kontraksi otot ke dinding mantel (Martin, 2005).

2.2 Metallothionein

MT merupakan biomarker yang bersifat universal. MT tidak hanya dapat digunakan sebagai biomarker pada penelitian skala laboratorium, tetapi juga dapat digunakan di perairan bebas seperti laut, danau, teluk maupun sungai. Disamping itu dapat digunakan untuk deteksi logam berat yang terakumulasi pada organ tubuh ikan maupun yang terpapar di perairan. MT juga merupakan biomarker (penanda biologis) untuk peringatan dini (*early warning*) terhadap

paparan logam berat (Cd, Pb dan Hg) sejak tingkat sub seluler, reaksi awal sebelum respon terjadi pada tingkatan organisasi (spektrum) biologi yang lebih tinggi. Dengan demikian terjadinya pencemaran di tingkat sub seluler sudah dapat diketahui, sehingga pencemaran di tingkat ekosistem dapat dicegah atau tidak akan terjadi (Dewi *et al.*, 2014).

MT merupakan peptida dengan berat molekul yang rendah dengan konten sistein tinggi. Dalam invertebrata air, MT memainkan peran penting dalam detoksifikasi logam dan sering disebut sebagai biomarker yang berguna untuk logam beracun (Desouky, 2012). Metallothionein merupakan protein pengikat logam (*metal-binding protein*) yang berfungsi dan berperan dalam proses pengikatan ataupun pengekapan logam di dalam jaringan setiap makhluk hidup (Yuliana, 2012).

MT terdiri dari protein (polipeptida) yang mempunyai massa molekul yang kecil (6-7 kDa), dan sifat utamanya adalah mengandung 26-33% 'cysteine' serta tidak mempunyai asam amino aromatik atau histidin. Sebagai konsekuensi dari banyaknya kandungan asam amino 'cysteine' maka protein ini mengandung kelompok 'thiol' (sulfhydryl, -SH) dalam jumlah yang besar. Kelompok ini mengikat logam-logam berat sangat kuat, khususnya merkuri (Hg), kadmium (Cd), perak (Ag), seng (Zn) dan tin. Redisu sulfhydryl dari 'cysteine' mampu mengikat logam, di mana 1 atom logam (misalnya: Cd, Zn atau Hg) untuk 3 residu -SH, atau 1 atom logam 2 residu -SH (Lasut, 2002).

Prosedur pengukuran tingkat pencemaran di perairan, khususnya untuk perairan Indonesia telah banyak dibuat, namun sedikit saja yang dapat dikategorikan sebagai prosedur yang peka, akurat dan dapat diandalkan. Apalagi pencemaran yang dimaksud adalah pencemaran yang disebabkan oleh logam berat yang berdampak luas sampai pada manusia. Salah satu alternatif prosedur pengukuran yang masuk dalam kategori peka, akurat dan dapat diandalkan serta

dapat diaplikasikan di perairan Indonesia adalah pengukuran dengan menggunakan indikator metallothionein (Lasut, 2002).

2.3 Logam Berat

Logam adalah unsur alam yang diperoleh dari erosi batuan, laut, vulkanisme dan lain sebagainya (Clark, 1986). Unsur-unsur dalam golongan logam pada umumnya memiliki daya hantar serta daya panas yang tinggi. Menurut densitasnya, logam dibagi menjadi dua golongan yaitu golongan logam ringan (*light metal*) yang mempunyai densitas $<5 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan logam berat (*heavy metal*) mempunyai densitas $>5 \text{ gr/cm}^3$ (Hutagalung *et al.*, 1997). Selain itu Sanusi (2006), juga mengemukakan bahwa logam berat di perairan terdiri atas logam berat esensial dan non esensial. Logam berat yang sering mencemari lingkungan atau non esensial adalah Hg, Cd, As, dan Pb. Selain logam berat non esensial (Hg, Cd, As, dan Pb) terdapat juga logam berat bersifat esensial dimana logam berat ini dibutuhkan dalam pembentukan haemosianin dalam darah dan sistem enzimatik, misalnya Cr, Ni, Cu, dan Zn.

Menurut Pratami (2005), logam berat umumnya bersifat racun terhadap makhluk hidup. Walaupun beberapa diantara logam diperlukan dalam jumlah kecil. Melalui berbagai perantara, seperti udara, makanan, maupun air yang terkontaminasi oleh logam berat, maka logam tersebut dapat terdistribusi ke dalam tubuh manusia dan sebagian akan terakumulasi. Jika keadaan ini berlangsung terus-menerus dalam jangka waktu yang lama dapat mencapai jumlah yang membahayakan kesehatan manusia. Darmono (1995), mengatakan bahwa 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 antara lain berhubungan dengan estetika (perubahan bau, warna dan rasa air), berbahaya

bagi kehidupan tanaman dan binatang, berbahaya bagi kesehatan manusia dan menyebabkan kerusakan pada ekosistem.

2.3.1 Timbal (Pb)

Timbal atau timah hitam yang dalam bahasa ilmiah dikenal dengan kata plumbum dan disymbol dengan Pb, merupakan logam lunak dengan titik leleh $327,502^{\circ}\text{C}$ dan titik didih 1620°C . Logam ini termasuk ke dalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada tabel periodik unsur kimia. Walaupun bersifat lunak dan lentur, timbal sangat rapuh dan mengkerut pada pendinginan, sulit larut dalam air dingin, air panas dan air asam. Timbal dapat larut dalam asam nitrit, asam asetat dan asam sulfat pekat. Sebagai salah satu logam berat, ternyata timbal merupakan unsure yang potensial menyebabkan pencemaran lingkungan (Fernanda, 2012). Logam ini mudah dimurnikan sehingga banyak digunakan oleh manusia pada berbagai kegiatan misalnya pertambangan, industri dan rumah tangga. Pada pertambangan timbal berbentuk senyawa sulfida (PbS). Palar (2012), menjelaskan masuknya logam Pb ke dalam perairan dapat melalui proses pengendapan yang berasal dari aktivitas di darat seperti industri, rumah tangga dan erosi, jatuhnya partikel-partikel dari sisa proses pembakaran yang mengandung tetraetil Pb, air buangan dari pertambangan bijih timah hitam dan buangan sisa industri baterai.

Logam Pb bersifat toksik pada manusia dan dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis. Keracunan akut biasanya ditandai dengan rasa terbakar pada mulut, adanya rangsangan pada sistem gastro intestinal yang disertai dengan diare. Sedangkan gejala kronis umumnya ditandai dengan mual, anemia, sakit di sekitar mulut, dan dapat menyebabkan kelumpuhan (Darmono, 2001). Daya racun dari Pb disebabkan terjadi penghambatan proses kerja enzim oleh ion-ion Pb^{2+} . Penghambatan tersebut menyebabkan terganggunya

pembentukan hemoglobin darah. Hal ini disebabkan adanya bentuk ikatan yang kuat (ikatan kovalen) antara ion-ion Pb^{2+} dengan gugus sulphur di dalam asam-asam amino (Fardiaz, 1992). Menurut Hamzah dan Agus (2010), daya kelarutan Pb sangat rendah dan bersifat pasif, selain itu Pb memiliki daya translokasi yang rendah mulai dari akar sampai organ tumbuhan lainnya. Pb juga memiliki toksisitas yang tertinggi dan menyebabkan racun bagi beberapa spesies.

2.3.2 Merkuri (Hg)

Merkuri adalah unsur yang mempunyai nomor atom ($NA=80$) serta mempunyai massa molekul relatif ($MR=200,59$). Merkuri diberikan simbol kimia Hg yang merupakan singkatan yang berasal dari bahasa Yunani *Hydrargyricum*, yang berarti cairan perak. Bentuk fisik dan kimianya sangat menguntungkan karena merupakan satu-satunya logam yang berbentuk cair dalam suhu kamar ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$), titik bekunya paling rendah ($-39\text{ }^{\circ}\text{C}$), mempunyai kecenderungan menguap lebih besar, mudah bercampur dengan logam-logam lain untuk menjadi logam campuran (Amalgam/Alloi), serta dapat menghasilkan arus listrik sebagai konduktor yang baik untuk tegangan arus listrik (Apriadi, 2005).

Di perairan alami logam berat merkuri terdapat dalam bentuk Hg, Hg^+ dan Hg^{2+} yang ditentukan oleh kondisi reduksi atau oksidasi. Perairan dengan oksigen terlarut cukup baik ($Fh \geq 0,5\text{ mV}$) menyebabkan Hg^{2+} yang terlarut menjadi dominan. Dalam keadaan reduksi atau fakultatif akan terbentuk Hg dan Hg^+ , dan apabila terdapat sulfid akan terbentuk senyawa HgS (Sanusi, 2006).

Merkuri dan turunannya mempunyai sifat yang sangat beracun, sehingga kehadirannya di lingkungan perairan dapat mengakibatkan kerugian pada manusia karena sifatnya yang mudah larut dan terikat dalam jaringan tubuh organisme air. Pencemaran merkuri di perairan mempunyai pengaruh terhadap ekosistem setempat yang disebabkan oleh sifatnya yang stabil dalam sedimen,

kelarutannya yang rendah dalam air dan kemudahannya diserap dan terkumpul dalam jaringan tubuh organisme air, baik melalui proses *bioaccumulation* maupun *biomagnification* yaitu melalui *food chain* (Kristiyanti, 2008).

2.3.3 Kadmium (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 *greenocckite* (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 (NH₃) (Palar, 2004). Darmono (1995) mengatakan bahwa kadmium selalu bercampur dengan logam lain, terutama dalam pertambangan zink dan timbal selalu ditemukan kadmium dengan kadar 0,2 sampai 0,4%, sebagai hasil sampingan dari proses pemurnian zink dan timbal.

Kadmium bervalensi dua (Cd²⁺) adalah bentuk terlarut stabil dalam lingkungan perairan laut pada pH dibawah 8,0. Kadar Cd di perairan alami berkisar antara 0,29-0,55 ppb dengan rata-rata 0,42 ppb. Dalam lingkungan alami yang bersifat basa, cadmium mengalami hidrolisis, teradsorpsi oleh padatan tersuspensi dan membentuk ikatan kompleks dengan bahan organik. Di perairan alami, Cd membentuk ikatan kompleks dengan ligan baik organik maupun anorganik, yaitu Cd²⁺, Cd(OH)⁺, CdCl⁺, CdSO₄, CdCO₃ dan Cd organik (Sanusi, 2006). Logam Cd atau kadmium mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Sumber kadmium dapat berasal dari pabrik peleburan besi, baja, produksi semen, pembakaran sampah, dan penggunaan logam yang berhubungan dengan hasil produksinya (pabrik baterai, aki, pigmen warna, pestisida, gelas, dan keramik) (Darmono, 1995).

2.4 Mekanisme Penyerapan Logam

Menurut Darmono (2001), menyatakan logam masuk ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup melalui beberapa jalan, yaitu saluran pernapasan, pencernaan dan penetrasi melalui kulit. Adsorpsi logam melalui saluran pernapasan biasanya cukup besar, baik pada hewan air yang masuk melalui insang maupun hewan darat yang masuk melalui debu di udara ke saluran pernapasan. Absorpsi melalui saluran pencernaan hanya beberapa persen saja tetapi jumlah logam yang masuk melalui saluran pencernaan biasanya cukup besar walaupun persentasenya relatif kecil. Dalam tubuh hewan logam diabsorpsi oleh darah, berkaitan dengan protein darah yang kemudian didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh. Akumulasi logam yang tertinggi biasanya dalam organ detoksikasi (hati) dan ekskresi (ginjal). Di dalam kedua jaringan tersebut biasanya logam juga berkaitan dengan berbagai jenis protein baik enzim maupun protein lain yang disebut MT

Menurut Hariono (2005), proses masuknya senyawa timbal ke dalam tubuh dapat melalui beberapa cara antara lain :

1. Sekitar 80% timbal masuk ke dalam tubuh melalui saluran pernapasan, kemudian masuk ke pembuluh darah. Timbal yang terhirup akan berikatan dengan darah dan diedarkan ke seluruh jaringan dan organ tubuh. Plasma darah berfungsi dalam mendistribusikan timbal dalam darah ke bagian syaraf, ginjal, hati, kulit dan otot skeletal atau rangka. Lebih dari 90% timbal yang terserap oleh darah berikatan dengan sel-sel darah merah (Palar, 2004).
2. Melalui makanan dan minuman (14%) yang akan ikut dimetabolisme oleh tubuh.

3. Penetrasi pada selaput atau lapisan kulit (1%), hal ini disebabkan senyawa timbal dapat larut dalam lemak. Senyawa timbal tersebut dapat melakukan penetrasi apabila partikel timbal menempel pada permukaan kulit.

2.5 Hubungan Logam Berat dan Metallothionein (MT)

MT merupakan suatu rantai polipeptida pendek, linier, terdiri dari 61 – 68 asam amino, kaya akan cystein (pada manusia terdiri dari 20 residu cystein), berbentuk "S" dan memiliki kemampuan untuk mengikat logam. Terdapat empat bentuk dari MT dan setiap MT memiliki fungsi yang spesifik. MT merupakan sistem utama yang dimiliki oleh tubuh dalam mendetoksifikasi air raksa, timbal, dan logam berat lain. Setiap logam berat memiliki afinitas yang berbeda terhadap MT. Berdasarkan afinitas tersebut, air raksa ternyata mempunyai afinitas yang paling kuat terhadap MT, dibandingkan dengan logam lain seperti tembaga, kadmium, perak, dan zinc. Bila MT berfungsi dengan baik dan/atau jumlah logam berat yang masuk tubuh tidak melebihi kemampuan MT untuk mengikat logam berat tersebut, maka seharusnya tidak akan menimbulkan gangguan akibat keracunan logam berat (Santosa, 2003).

Keberadaan MT memiliki setidaknya dua fungsi utama, yaitu membersihkan materi radikal bebas yang terdapat didalam tubuh dan detoksifikasi logam untuk mencapai keadaan *homeostasis*. Adapun salah satu fungsi MT adalah sebagai detoksifikasi logam untuk mencapai keadaan *homeostasis*, sehingga adanya MT menyebabkan organisme menjadi resisten terhadap logam berat dan menyebabkan toksisitas dari logam berat berkurang (Carpene *et al.*, 2007).

Logam berat seperti kadmium (Cd) dapat menyebabkan karsinogen (gangguan metabolisme), mutagenik (mutasi gen) dan teratogenik (kelainan gen) pada beberapa jenis hewan termasuk pada bivalvia. Ketika berada di dalam sel,

salah satu logam berat seperti Cd akan menginduksi berbagai jenis mekanisme signal transduksi serta mengaktifkan banyak gen. Salah satu efek langsung yang ditimbulkan oleh logam berat Cd adalah mengganggu proses homeostasis sel. Mekanisme homeostasis sel terlaksana dengan keberadaan protein MT yang berperan sebagai protein pengikat logam dan mengurangi efek toksik (Rumahlatu, 2012).

2.6 Pengamatan Metallothionein (MT) dengan Metode ELISA

Enzim-linked immunosorbent assay (ELISA) atau disebut sebagai uji penentuan kadar imunisorben taut-enzim merupakan teknik pengujian serologi yang didasarkan pada prinsip interaksi antara antibodi dan antigen. Pada awalnya teknik ELISA hanya digunakan dalam bidang imunologi untuk mendeteksi keberadaan antigen maupun antibodi dalam suatu sampel seperti dalam pendeteksian antibodi IgM, IgG dan IgA pada saat terjadi infeksi (khususnya pada tubuh manusia). Namun seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, teknik ini juga dapat digunakan dalam menganalisis kadar hormon yang terdapat dalam suatu organisme (Farabi, 2012).

Setiawan (2007), menjelaskan bahwa ELISA (*Enzim-linked immunosorbent assay*) adalah tes serologis yang umumnya dilakukan dalam berbagai bentuk pada tipe antigen dan reagen yang digunakan pada saat melakukan tes. Teknik tes ELISA hanya dapat mendeteksi antibodi spesifik genus dan tidak dapat digunakan untuk mengidentifikasi serogrup atau serovar. Teknik ELISA merupakan teknik kuantitatif yang sangat sensitif, penggunaannya sangat luas, memerlukan peralatan yang sedikit, reagen yang diperlukan sudah tersedia dan dijual secara komersial, dan sangat mudah didapat. Pemeriksaan ELISA dapat digunakan untuk mendeteksi antibodi dalam tubuh manusia ataupun hewan/binatang. Terdapat berbagai teknik pemeriksaan ELISA. Tes ini

dapat dilakukan dengan kit yang sudah jadi atau dapat juga dilakukan dengan menggunakan antigen yang diolah sendiri. ELISA adalah tes serologis yang umumnya dilakukan dalam berbagai bentuk tergantung pada tipe antigen dan reagen yang digunakan pada saat melakukan tes. Penggunaan tes ini dapat digunakan pula dalam mengukur kadar MT dalam organisme yang dilakukan dengan mendeteksi antibodi.

ELISA adalah metode yang biasanya sering digunakan untuk mendeteksi protein target berdasarkan antigen dan antibodi spesifik. Kemudian ditambahkan konjugasi antibodi dengan enzim tertentu untuk memvisualisasikan interaksi antigen-antibodi dengan substrat enzim dan pengukuran terhadap kode yang dihasilkan. Metode ELISA telah diterapkan dalam penentuan MT pada sejumlah sampel termasuk sel hepatitis, sel sertoli tikus yang terpapar kadmium dan urin anak-anak yang berada di lingkungan tercemar (Ryvolova *et al.*, 2011).

2.7 Kondisi Fisika dan Kimia Air

Kualitas air merupakan salah satu hal yang paling penting untuk diketahui dalam ekosistem perairan. Kualitas air merupakan penentu keadaan kehidupan. Hal itu dikarenakan kehidupan ekosistem perairan sangat mutlak tergantung pada kondisi perairan dalam hal ini adalah kualitas air (Bagus, 2011). Parameter fisika dan kimia lingkungan perairan sangat mempengaruhi organisme yang hidup ditempat tersebut khususnya bivalvia dan gastropoda (Yuniarti, 2012).

Pengamatan untuk menentukan kualitas perairan laut dapat dilakukan dengan mengukur suhu, pH (potential Hydrogen), oksigen terlarut/DO (*Dissolved Oxygen*), dan salinitas

2.7.1 Suhu

Barus (1996), menyatakan bahwa kelarutan berbagai jenis gas di air serta semua aktivitas biologis-fisiologis di dalam ekosistem akuatik sangat dipengaruhi

oleh suhu. Menurut hukum Van't Hoff kenaikan suhu sebesar 10 °C (hanya pada kisaran suhu yang masih dapat ditolelir) akan meningkatkan aktifitas biologis (misalnya respirasi) pada organisme sebesar 2-3 kali lipat. Suhu perairan dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang masuk kedalam air. Suhu selain berpengaruh terhadap berat jenis, viskositas dan densitas air, juga berpengaruh terhadap kelarutan gas dan unsur-unsur dalam air, sedangkan perubahan suhu dalam kolom air akan menimbulkan arus secara vertikal.

Suhu adalah parameter lingkungan yang sangat penting karena mempengaruhi sifat fisika kimia perairan. Kenaikan suhu, penurunan pH dan penurunan salinitas perairan dapat menyebabkan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar (Waldichuk, 1974). Faktor yang mempengaruhi tingkat akumulasi logam berat adalah kondisi lingkungan perairan seperti suhu, pH dan salinitas (Rudiyanti, 2007). Semakin tinggi suhu air, daya toksisitas logam semakin meningkat, sebaliknya semakin rendah suhu air maka daya toksisitas logam juga menurun (Darmono, 2001).

Suhu berpengaruh langsung terhadap tumbuhan dan hewan, Hutabarat dan Evans (1984) mengemukakan bahwa suhu merupakan *controlling factor* (faktor pengendali) bagi proses respirasi dan metabolisme biota akuatik yang berlanjut terhadap pertumbuhan dan proses fisiologi serta siklus reproduksinya. Hasil pengamatan Rakhmanda (2011), suhu organisme laut seperti gastropoda dan bivalvia diketahui bahwa suhu pada pengamatan berkisar antara 25 °C – 27°C.

2.7.2 Potential Hydrogen (pH)

Nilai pH menyatakan nilai konsentrasi ion Hidrogen dalam suatu larutan. Dalam air yang bersih jumlah konsentrasi ion H⁺ dan OH⁻ berada dalam keseimbangan sehingga air yang bersih akan bereaksi netral. Organisme akuatik

dapat hidup dalam suatu perairan yang mempunyai nilai pH netral dengan nilai kisaran toleransi antara asam lemah dan basa lemah. pH yang ideal bagi kehidupan organisme akuatik umumnya berkisar antara 7-8,5. Kondisi perairan yang sangat asam maupun sangat basa akan membahayakan kelangsungan hidup organisme karena akan menyebabkan mobilitas berbagai senyawa logam yang bersifat toksik (Barus, 1996).

Nilai pH berpengaruh terhadap toksisitas suatu senyawa kimia. Toksisitas logam berat memperlihatkan peningkatan pada pH rendah dan berkurang dengan meningkatnya pH. Nilai pH berkaitan erat dengan karbondioksida dan alkalinitas. Pada $pH < 5$, alkalinitas dapat mencapai 0. Semakin tinggi nilai pH, semakin tinggi pula nilai alkalinitas dan semakin rendah kadar karbondioksida bebas. Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap pertumbuhan pH dan menyukai nilai pH 7-8,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan. Toksisitas logam dapat memperlihatkan peningkatan pH rendah (Effendi, 2003). pH adalah faktor penting yang menentukan transformasi logam. Penurunan pH secara umum meningkatkan ketersediaan logam berat kecuali Mo dan Se (Panjaitan, 2009). Masuknya logam di dalam perairan akan berinteraksi dengan berbagai faktor seperti derajat keasaman (pH) sehingga akan berpengaruh terhadap kelarutan logam (Sudarwin, 2008).

2.7.3 Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)

Menurut Salmin (2005), oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* = DO) dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil

fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut. Kecepatan difusi oksigen dari udara, tergantung dari beberapa faktor, seperti kekeruhan air, suhu, salinitas, pergerakan massa air dan udara seperti arus, gelombang dan pasang surut. Kementerian Lingkungan Hidup menetapkan bahwa kandungan oksigen terlarut adalah minimal 5 ppm untuk kepentingan wisata bahari dan biota laut.

Menurut Connel dan Miller (2006), penyebab utama berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam air disebabkan karena adanya zat pencemar yang dapat mengkonsumsi oksigen. Zat pencemar tersebut terutama terdiri dari bahan-bahan organik dan non organik yang berasal dari berbagai sumber, seperti kotoran (manusia dan hewan), sampah organik, bahan-bahan buangan industri dan rumah tangga. Sebagian besar zat pencemar yang menyebabkan oksigen terlarut berkurang adalah limbah organik.

Pengaruh oksigen terlarut terhadap logam berat yaitu berbanding terbalik dimana semakin rendah kadar oksigen terlarut, semakin tinggi toksisitas logam berat, begitu juga sebaliknya. Namun pada perairan yang diperuntukkan untuk perikanan sebaiknya kadar oksigen tidak kurang dari 5 mg/liter (Wahyuni *et al.*, 2013). Adanya logam berat dalam tubuh organisme akan mengganggu sintesis Hb, sehingga proses pengikatan oksigen terganggu. Jika sintesis Hb dihambat maka kemampuan untuk mengikat oksigen juga semakin kecil, oksigen dibutuhkan tubuh untuk metabolisme (Yulaipi *et al.*, 2013).

2.7.4 Salinitas

Salinitas didefinisikan sebagai berat dalam gram dari semua zat padat yang terlarut dalam 1 kg air laut jikalau semua brom dan yodium digantikan dengan khlor dalam jumlah yang setara, semua karbonat diubah menjadi oksidanya dan semua zat organik dioksidasikan. Nilai salinitas dinyatakan dalam

g/kg yang umumnya dituliskan dalam ‰ atau ppt yaitu singkatan dari part-per-thousand (Arief, 1984).

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air. Garam yang dimaksud adalah berbagai ion yang terlarut dalam air termasuk di dalamnya adalah garam dapur (NaCl). Pada umumnya salinitas disebabkan oleh 7 ion yaitu; natrium (Na^+), Kalium (K^+), Kalsium (Ca^{++}), magnesium (Mg^{++}), klorida (Cl^-), sulfat (SO_4^{2-}) dan bikarbonat (HCO_3^-). Salinitas dinyatakan dalam satuan gram/kg atau promil (‰). Air dikategorikan sebagai air payau bila konsentrasinya 0,05 sampai 3‰ atau menjadi saline bila konsentrasinya 3 sampai 5‰. Lebih dari 5‰ disebut brine (Apriani dan Wijaya, 2011). Menurut Nybakken (1998), salinitas merupakan konsentrasi dari ion-ion yang terlarut dalam air dan dinyatakan dalam ppt atau promil. Salinitas sangat berhubungan dengan tekanan osmotik air sehingga organisme berada pada kondisi yang seimbang dengan medium tempat hidupnya. Perubahan salinitas dapat menyebabkan masalah terhadap tekanan osmotik pada organisme yang mungkin akan menimbulkan kematian. Perubahan salinitas dapat terjadi karena adanya pasang surut, aliran air dari daratan, penguapan air bersalinitas maupun adanya air hujan.

Kenaikan suhu, penurunan pH dan penurunan salinitas perairan dapat menyebabkan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar (Waldichuk, 1974). Faktor yang mempengaruhi tingkat akumulasi logam berat adalah kondisi lingkungan perairan seperti suhu, pH dan salinitas (Rudiyanti, 2007). Pada kadar garam atau salinitas yang semakin tinggi maka daya toksisitas logam akan semakin menurun dan sebaliknya (Darmono, 2001).