

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Logam Berat

Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 gr/cm<sup>3</sup>, terletak di sudut kanan bawah sistem periodik misalnya Hg, Cd, Pb, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 dari perioda 4 sampai 7. Sebagian logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) merupakan zat pencemar yang berbahaya. Afinitas yang tinggi terhadap unsur S menyebabkan logam ini menyerang ikatan belerang dalam enzim, sehingga enzim bersangkutan menjadi tak aktif. Gugus karboksilat (-COOH) dan amina (-NH<sub>2</sub>) juga bereaksi dengan logam berat. Kadmium, timbal, dan tembaga terikat pada sel-sel membran yang menghambat proses transpor melalui dinding sel. Logam berat juga mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalis penguraiannya (Purnama, 2011).

Semua logam berat yang ada di dalam tanah menurut Notohadiprawiro (2006), dapat dipisahkan menjadi berbagai fraksi atau bentuk yaitu:

1. Larut air, berada di dalam larutan tanah.
2. Tertukarkan, terikat pada tapak-tapak jerapan (*adsorption sites*) pada koloid tanah dan dapat dibebaskan oleh reaksi pertukaran ion.
3. Terikat secara organik, berasosiasi dengan senyawa humus yang tidak terlarutkan.
4. Terjerat (*occluded*) di dalam oksida besi dan mangan.
5. Terikat secara struktural di dalam mineral silikat atau mineral primer. Mineral primer adalah mineral tanah yang umumnya mempunyai ukuran butir fraksi pasir (2 – 0,05 mm) (Prasetyo, 2005).

### 2.1.1 Timbel

Menurut Suhendrayatna (2001), timbel merupakan logam berat yang sangat beracun, sumber utama timbel adalah dari komponen gugus alkil timbel yang digunakan sebagai bahan aditif bensin. Menurut SNI (2009), timbel memiliki nomor atom 82; bobot atom 207,21; valensi 2-4. Timbel merupakan logam yang sangat beracun. Secara alami ditemukan pada tanah. Timbel tidak berbau dan tidak berasa. Timbel dapat bereaksi dengan senyawa-senyawa lain membentuk berbagai senyawa-senyawa timbel baik senyawa organik seperti timbel oksida (PbO) dan timbel klorida (PbCl<sub>2</sub>).

Menurut BPLHD (2011), timbel atau dikenal sebagai logam Pb dalam susunan unsur merupakan logam berat yang terdapat secara alami di dalam kerak bumi dan tersebar ke alam dalam jumlah kecil melalui proses alami termasuk letusan gunung berapi dan proses geokimia. Pb merupakan logam lunak yang berwarna kebiru-biruan atau abu-abu keperakan dengan titik leleh pada 327,5 °C dan titik didih 1.740 °C pada tekanan atmosfer. Timbel mempunyai nomor atom terbesar dari semua unsur yang stabil, yaitu 82. Namun logam ini sangat beracun. Seperti halnya merkuri yang juga merupakan logam berat. Timbel adalah logam yang dapat merusak sistem saraf jika terakumulasi dalam jaringan halus dan tulang untuk waktu yang lama. Timbel terdapat dalam beberapa isotop: 204Pb (1.4%), 206Pb (24.1%), 207Pb (22.1%), dan 208Pb (52.4%). 206Pb, 207Pb dan 208Pb kesemuanya adalah *radiogenic* dan merupakan produk akhir dari pemutusan rantai kompleks. Logam ini sangat resistan (tahan) terhadap korosi, oleh karena itu seringkali dicampur dengan cairan yang bersifat korosif (seperti asam sulfat).

Timbel tidak termasuk dalam unsur esensial bagi makhluk hidup, bahkan unsur ini bersifat toksik bagi manusia dan hewan karena dapat terakumulasi pada tulang, sedangkan toksisitas timbel terhadap tumbuhan relatif rendah

dibanding dengan unsur renik yang lain. Pb (timah hitam/timbel) persenyawaanya dapat berada di dalam badan perairan secara alamiah dan sebagai dampak dari aktivitas manusia. Timbel merupakan logam yang amat beracun yang pada dasarnya tidak dapat dimusnahkan serta tidak terurai menjadi zat lain. Oleh karena itu, apabila timbel lepas ke lingkungan akan menjadi ancaman bagi makhluk hidup (Effendi, 2003).

### 2.1.2 Proses bioakumulasi Pb pada organisme

Logam berat menjadi berbahaya disebabkan bioakumulasi. Menurut NOP (2012), bioakumulasi adalah akumulasi senyawa kimia oleh organisme karena pemasukan langsung dari medium sekitar atau melalui rantai makanan. Logam berat yang masuk ke tubuh kijing melalui insang. Dalam kurun waktu yang lama telah terdapat akumulasi dalam jaringan daging, sehingga akan berpengaruh terhadap aktivitas fisiologi dan biokimia tubuh kijing. Karena sifat kijing sebagai *filter feeder organism* maka dapat menimbulkan bahaya jika kijing ini dikonsumsi karena dagingnya akan mengakumulasi zat-zat beracun dari lingkungannya (Jalius *et al.*, 2008).

Terjadinya kontaminasi zat beracun pada organisme perairan menurut Jardin (1993) dalam Suprapti (2008), dapat melalui 3 cara: (1) melalui permukaan kulit organisme (2) melalui respirasi atau ingesti dari air dan (3) melalui pengambilan makanan (zooplankton, phitoplankton) yang mengandung bahan pencemar kimia.

Logam berat Pb dalam air kebanyakan berbentuk ion dan logam tersebut diserap oleh kijing secara langsung melalui air yang melewati membran insang atau melalui makanan (Purnomo, 2009). Selain melalui insang, logam berat juga masuk melalui kulit (kutikula) dan lapisan mukosa yang selanjutnya diangkut darah dan dapat tertimbun dalam jantung dan ginjal kijing. Kemampuan biota

laut (ikan, udang dan moluska) dalam mengakumulasi logam berat di perairan tergantung pada jenis logam berat, jenis biota, lama pemaparan serta kondisi lingkungan seperti pH, suhu dan salinitas.

Semakin besar ukuran biota air, maka akumulasi logam berat semakin meningkat ( Widiati, 2010 ). Toksisitas logam berat dalam kijing yang ditimbulkan akibat akumulasi dalam jaringan tubuh mengakibatkan keracunan dan kematian bagi biota air yang mengkonsumsinya. Timbel ini sangat berbahaya bagi biota air karena menghambat metabolisme (Purnomo, 2009).

Menurut Manahan 1997 dalam Purnomo 2009, afinitas yang tinggi terhadap unsur S menyebabkan logam ini menyerang ikatan belerang dalam enzim, sehingga enzim bersangkutan menjadi tak aktif. Gugus karboksilat (-COOH) dan amina (-NH<sub>2</sub>) juga bereaksi dengan logam berat timbel, terikat pada sel-sel membran yang menghambat proses transformasi melalui dinding sel. Logam berat juga mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalis penguraiannya .

Menurut Darmono 1995 dalam Arifin *et al.* 2005 menjelaskan bahwa Pb dalam saluran pencernaan terdapat dalam bentuk terlarut, Pb di absorpsi sekitar 1-10% melalui dinding saluran pencernaan. Sebagian Pb yang telah melalui rute metabolisme diekskresikan melalui urine dan feses. Proses *ekskresi* Pb akan berjalan lambat untuk sampai ke ginjal karena melewati beberapa organ sebelum sampai ke ginjal. *Ekskresi* Pb selain melalui cara *ekskresi feses* dapat juga melalui pengelupasan kulit *epidermal*. Senyawa alkil Pb yang tidak dapat larut dalam air akan diserap sampai ke kulit. Pb *tetraetil* dan *tetrametil* akan berubah menjadi *metabolit trialkil* yang responsnya sangat tinggi terhadap toksisitas lemak. Senyawa Pb *alkil* pada akhirnya akan diubah menjadi Pb *inorganik* dan kemudian diekskresikan melalui urin.

## 2.2 *Anodonta woodiana*

### 2.2.1 Taksonomi kijing taiwan (*Anodonta woodiana*)

Kijing taiwan (*Anodonta woodiana*) merupakan kerang air tawar. Cangkang kijing berbentuk oval, dan berwarna coklat kehijauan. Kaki kijing tersusun dari jaringan otot yang elastis dan bentuknya seperti lidah. Otot kijing bisa memanjang dan memendek, pergerakan kaki terjadi akibat adanya tekanan syaraf melalui darah. Kijing juga mempunyai organ yang dinamakan bisus, digunakan oleh kijing untuk menempel pada substrat (Purnama, 2011).

Klasifikasi kijing taiwan (*Anodonta woodiana*) menurut Zipcodezoo (2011) adalah:

Phylum : Mollusca  
Class : Bivalvia  
Subclass : Metabranchia  
Superorder : Eulamellibranchia  
Order : Unionida  
Superfamily : Unionacea  
Family : Unionidae  
Genus : *Anodonta*  
Spesies : *Anodonta woodiana*



Gambar 1. *Anodonta woodiana*

### 2.2.2 Ekologi dan morfologi kijing taiwan (*Anodonta woodiana*)

Tubuh kijing taiwan dan tubuh hampir semua jenis moluska terbagi menjadi tiga bagian, yakni *visceral mass*, kaki dan mantel. *Visceral mass* adalah kumpulan organ-organ bagian dalam, seperti insang, mulut, perut, gonad, dan organ penting lainnya. Cangkang adalah bagian yang langsung berhubungan dengan perairan. Warna cangkang kijing coklat kehijauan dan keras. Bila dilihat dari atas, sebagian besar cangkang kijing taiwan berbentuk oval, tapi ada juga

yang mendekati bulat. Sedangkan bila dilihat dari samping, cangkang kijing taiwan berbentuk lonjong di satu bagian, lalu memipih ke bagian lainnya (Purnama, 2011).

Kaki tersusun dari jaringan-jaringan otot yang elastis, berbentuk seperti lidah, bisa memanjang dan bisa memendek. Saat memanjang, kaki biasanya digunakan untuk berjalan dari satu tempat ke tempat lainnya, terutama ketika masih muda. Selain untuk berjalan, kaki juga digunakan sebagai alat pembersih kotoran pada mantel dan insang. Pergerakan kaki terjadi akibat adanya tekanan saraf melalui darah. Bila terjadi tekanan, maka kaki akan memanjang. Perpanjangan kaki bisa mencapai tiga kali lipat dari keadaan normal. Saat kakinya memanjang, berfungsi dan menyebabkan cangkang terbuka dengan sendirinya. Pada bagian kaki, ada organ lain yang bentuknya seperti rambut atau serat dan berwarna hitam disebut bisus. Bisus digunakan oleh kijing sebagai alat untuk menempelkan tubuhnya pada tempat yang disukai (Purnama, 2011).

Siklus reproduksi kijing air tawar memperlihatkan pola musiman, baik spesies yang hidup di daerah beriklim sedang maupun yang hidup di daerah tropik. Aktivitas reproduksi yang memperlihatkan pola musiman meliputi gametogenesis yang diikuti dengan pelepasan gamet. Musim kawin yaitu saat sperma disebarkan untuk membuahi ova yang sedang menuju ruang insang (marsupium) dan masa kebuntingan yaitu periode pengeraman larva (glokidium) di dalam marsupium karena terdapat sel telur yang kemudian disusul oleh proses penyemburan glokidia yang sudah masak melalui sifon ekskuren ke perairan. Glokidia akan berubah menjadi anak kijing (juvenil) diruang *suprabranchial* (Widarto, 1996).

Menurut Dakin (1927), sejarah hidup kijing sangat menakjubkan karena telur akan dipertahankan dimana setelah pembuahan dalam insang sampai menjadi kijing kecil, tetapi bentuknya sangat berbeda dengan kijing dewasa. Kijing

menempel dan menjadi parasit pada ikan. Setelah tahap kista maka kijing akan jatuh atau turun ke bawah menuju sedimen. Dalam kerang air tawar, sel telur yang telah matang akan dikeluarkan dari ovarium. Kemudian masuk ke dalam ruangan *suprabranchial*. Di sini terjadi pembuahan oleh sperma yang dilepaskan oleh hewan jantan. Telur yang telah dibuahi berkembang menjadi larva *glochidium*. Larva ini pada beberapa jenis ada yang memiliki alat kait dan ada pula yang tidak. Selanjutnya larva akan keluar dari induknya dan menempel pada ikan sebagai parasit, lalu menjadi kista. Setelah beberapa hari kista tadi akan membuka dan keluarlah *Mollusca* muda. Akhirnya *Mollusca* ini hidup bebas di alam (Nurali, 2009).

Logam berat masuk ke dalam tubuh organisme melalui rantai makanan, insang dan difusi oleh permukaan kulit (Hutagalung, 1991 *dalam* Suryono, 2006). Lebih lanjut Clark, 1994 *dalam* Suryono, 2006, menginformasikan bahwa logam berat masuk ke dalam tubuh melalui makanan, penumpukan senyawa logam dan koloid logam melalui sistem pengumpul makanan seperti insang pada bivalvia. Mekanisme masuknya logam berat melewati membran sel melalui empat cara, yaitu difusi pasif lewat membran, filtrasi lewat pori-pori membran, transport dengan perantaraan organ pengangkut dan penyerapan oleh sel. Bivalvia mendapatkan makanan dengan cara menyaring partikel dari perairan termasuk didalamnya mikroalga. Makanan kijing yang berupa mikroalga tersebut masuk ke dalam rongga mulut setelah melalui penyaringan dengan cilia yang terdapat pada labial palp sehingga air yang mengandung makanan terbawa masuk ke dalam rongga mantel.

### 2.3 Sistem Imun

Sistem imun adalah hasil kerja sama antara sel, jaringan dan organ untuk membersihkan atau pertahanan diri terhadap benda asing. Sistem imun dapat mengenali dan mengingat jutaan benda asing untuk kemudian menghasilkan secret (antibody) dan sel dapat mengenali dan membunuh tiap benda asing tersebut (Rizkita dan Anggraini, 2012).

Ada 2 macam sistem kekebalan tubuh. Pertama adalah sistem kekebalan non spesifik (*innate immune system*) dan Kedua adalah sistem kekebalan spesifik (*adaptive immune system*). Pada kijing, sistem imunnya adalah non spesifik (*innate immune system*).

Menurut Isharmanto (2010), sistem kekebalan Non-spesifik dapat mendeteksi adanya benda asing & melindungi tubuh dari kerusakan yang diakibatkannya, namun tidak dapat mengenali benda asing yang masuk ke dalam tubuh, yang termasuk dalam sistem ini:

1. Reaksi inflamasi atau peradangan
2. Protein antivirus (interferon)
3. Sel *natural killer* (NK)
4. Sistem komplemen

Inflamasi atau peradangan merupakan respons lokal tubuh terhadap infeksi atau perlukaan. Tidak spesifik hanya untuk infeksi mikroba, tetapi respons yg sama juga terjadi pada perlukaan akibat suhu dingin, panas, atau trauma. Pemeran utama: fagosit, a.l: neutrofil, monosit, & makrofag (Isharmanto, 2010).

Sel yang terinfeksi virus akan mengeluarkan interferon, Interferon mengganggu replikasi virus (antivirus). Interferon juga memperlambat pembelahan dan pertumbuhan sel tumor dengan meningkatkan potensi sel NK dan sel T sitotoksik (antikanker). Peran interferon yg lain: meningkatkan aktivitas fagositosis makrofag & merangsang produksi antibodi. Sel *Natural Killer* (NK)

merusak sel yg terinfeksi virus & sel kanker dengan melisiskan membran sel pada paparan I, Kerjanya sama dengan sel T sitotoksik, tetapi lebih cepat, non-spesifik dan bekerja sebelum sel T sitotoksik menjadi lebih banyak (Isharmanto, 2010).

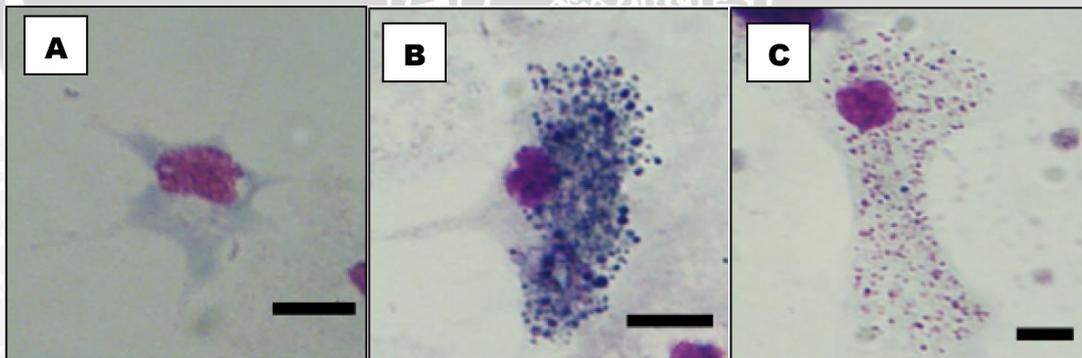
Sistem komplemen adalah lembah arus biokimia dari sistem imun yang membantu membersihkan patogen dari organisme, dan terdapat di hampir seluruh bentuk kehidupan. Beberapa invertebrata, termasuk berbagai jenis serangga, kepiting, dan cacing memiliki bentuk respon komplemen yang telah dimodifikasi yang dikenal dengan nama sistem prophenoloksidase (Wikipedia, 2012). Sistem komplemen diaktifkan oleh paparan rantai karbohidrat yang ada pada permukaan mikroorganisme yang tidak ada pada sel manusia, paparan antibodi yang diproduksi spesifik untuk zat asing tertentu oleh sistem imun adaptif. Komplemen yg teraktivasi akan berikatan dengan basofil dan sel mast serta menginduksi pelepasan histamin (reaksi inflamasi), berperan sebagai faktor kemotaksis yang meningkatkan fagositosis, berikatan dengan permukaan bakteri & bekerja sebagai opsonin (opsonisasi), menempel pada membran dan membentuk struktur berbentuk tabung yang melubangi membran sel dan menyebabkan lisis sel (Isharmanto, 2010).

Mori (1990) dalam Alifudin (2002) mengemukakan, bahwa respon imunitas pada hewan merupakan upaya proteksi terhadap infeksi maupun preservasi fisiologik homeostasi. Respon imunitas hewan akuatik terdiri dari respon non spesifik dan spesifik. Hemosit ini memiliki peranan penting dalam sistem imun udang yaitu melalui proses fagositosis, encapsulasi, cytotoxicity dan melanisasi (Rozik *et al*, 2011). Pada hewan invertebrata khususnya kijang, hemosit merupakan system imun bagi kijang.

## 2.4 Hemosit

Hemosit adalah sel yang berputar bebas pada hemolymph dan berinfiltrasi pada jaringan moluska. Berdasarkan fitur morfologi, dua jenis hemosit utama dapat diuraikan menjadi granulosit yang mempunyai banyak granula dalam sitoplasmanya dan agranulosit yang tidak mempunyai granula. Agranulosit terdiri dari Hyalinosit, Sel Intermediate, Sel blast-like. Hemosit terlibat dalam banyak fungsi fisiologis seperti sistem imun sel, perbaikan luka, pencernaan nutrisi dan transportasi (Travers *et al*, 2008).

Secara umum, dua tipe sel dasar yang dikenal pada hemosit kijing: agranulocytes dan granulosit, yang tergantung pada ada atau tidaknya butiran sitoplasma (Cheng, 1981). Tiga jenis agranulocytes telah diidentifikasi: sel blast-like, sel basofilik makrofag-like, dan hyalinocytes. Di sisi lain, granulosit dapat dibagi menjadi neutrofil, basofil dan acidophils (Chang, 2005). Gambar hemosit dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Tipe hemosit pada *S. glomerata* yang diamati dengan mikroskop cahaya (Aladaileh *et al.*, 2007)

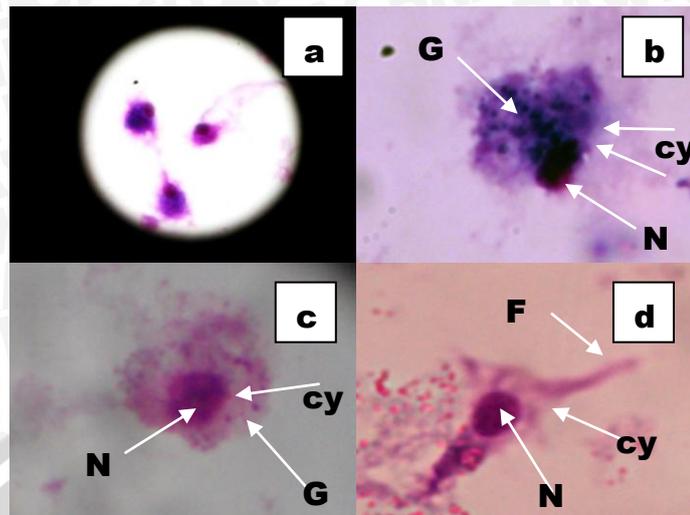
A) Sel Hyalin; B) Sel Basophil Granular; C) Sel Eosinophil Granular

Hemosit memainkan sebuah peran penting dalam mengatur pertahanan internal. Tiga tipe sel hemosit yang berbeda telah umum dijelaskan. Skema klasifikasi hemosit tiram *S. glomerata* secara umum menurut Aladaileh *et al.*,

(2007) pertama sel haemoblast adalah tipe sel dengan inti yang besar hampir memenuhi sel atau rasio sitoplasma lebih kecil dan tidak bergerak; kedua sel hyalin yang mempunyai kapasitas pergerakan amoeboid dengan terbentuknya filopodia merupakan tipe sel yang lebih kecil dari sel granula dimana rasio inti lebih besar dari sitoplasma, dan pada sitoplasma tidak ada atau sedikit mengandung granula; ketiga sel granula dengan filopodia yang panjang untuk pergerakan amoeboid adalah tipe sel dengan ukuran lebih besar daripada sel haemoblast dan sel hyalin dimana rasio inti lebih kecil dari sitoplasma dan di sitoplasma penuh dengan granula.

Dua jenis sel utama dalam kijing, granulosit dan agranulosit, dibedakan sesuai dengan adanya butiran sitoplasma. Granulosit sering menunjukkan inti eksentrik dan berisi butiran berbagai sitoplasma. Granulosit perlahan-lahan menyebar dan sangat mobile setelah menyebar. Agranulosit memiliki sitoplasma yang jelas dan memproduksi pseudopods panjang. Dalam monolayers pewarnaan hemosit dari bivalvia, granulosit disubklasifikasi menjadi eosinofilik dan basofilik granulosit. Eosinofilik granulosit kecil berisi granula kecil yang berwarna merah muda. Eosinofilik granulosit besar memiliki butiran yang berwarna merah muda lebih tua (Chang, 2005).

Menurut Wulandari (2011), adanya logam berat Pb mempengaruhi *Total Haemocyte Count* dari *S. glomerata*. Berikut ini adalah gambar hemosit *S. glomerata* dengan pewarnaan giemsa.



Gambar 3. Sel haemocyte tiram *S. glomerata* dengan pewarnaan Giemsa (a) sel haemocyte; (b) basophil granulocyte; (c) eosinophil granulocyte; (d) hyalinocyte; G: granula; N: nukleus; cy: cytoplasma; F: filopodia (Wulandari, 2011).

## 2.5 Parameter Kualitas Air

### 2.5.1 Suhu

Suhu merupakan faktor fisika penting untuk kelangsungan hidup suatu organisme. Kenaikan suhu dapat mempercepat reaksi – reaksi kimiawi. Tiap perubahan suhu cenderung untuk mempengaruhi banyak proses kimiawi yang terjadi secara bersamaan pada jaringan tanaman dan binatang serta biota secara keseluruhan (Romimoharto, 2001). Jenis, jumlah dan keberadaan flora dan fauna akuatis seringkali berubah dengan adanya perubahan suhu air, terutama oleh adanya kenaikan suhu di dalam air. Kisaran suhu yang sesuai untuk pertumbuhan makrozoobentos menurut Hutabarat dan Evans (1985) untuk kehidupan organisme perairan berkisar  $26^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}$ .

Menurut Kordi dan Andi (2007), suhu akan mempengaruhi aktifitas metabolisme organisme, karena itu suhu dijadikan sebagai faktor pembatas. Suhu sangat berpengaruh terhadap kehidupan dan pertumbuhan biota air. Secara umum laju pertumbuhan akan meningkat sejalan dengan kenaikan suhu.

Selain itu suhu juga dapat menekan kehidupan hewan budidaya bahkan menyebabkan kematian bila peningkatan suhu sampai ekstrim. Suhu sangat berkaitan erat dengan konsentrasi oksigen terlarut dalam air dan konsumsi oksigen hewan air. Suhu berbanding terbalik dengan konsentrasi jenuh oksigen terlarut, tetapi berbanding lurus dengan laju konsumsi oksigen oleh hewan air dan laju reaksi kimia dalam air. Effendi (2003), menambahkan bahwa semakin tinggi suhu dan ketinggian tempat serta semakin kecil tekanan atmosfer, kadar oksigen terlarut dalam air semakin kecil.

Menurut Hardjojo dan Djokosetiyanto (2005) dalam Irawan *et al.*, (2009), bahwa suhu air normal adalah suhu air yang memungkinkan makhluk hidup dapat melakukan metabolisme dan berkembangbiak. Kenaikan suhu air di badan air penerima, saluran air, sungai, danau dan lain sebagainya akan menimbulkan akibat sebagai berikut: 1) Jumlah oksigen terlarut di dalam air menurun; 2) Kecepatan reaksi kimia meningkat; 3) Kehidupan ikan dan hewan air lainnya terganggu. Jika batas suhu yang mematikan terlampaui, maka akan menyebabkan ikan dan hewan air lainnya mati.

Menurut Pararaja (2009), kenaikan suhu air dan penurunan pH akan mengurangi adsorpsi senyawa logam berat pada partikulat. Suhu air yang lebih dingin akan meningkatkan adsorpsi logam berat ke partikulat untuk mengendap di dasar. Sementara saat suhu air naik, senyawa logam berat akan melarut di air karena penurunan laju adsorpsi ke dalam partikulat. Logam yang memiliki kelarutan yang kecil akan ditemukan di permukaan air selanjutnya dengan perpindahan dan waktu tertentu akan mengendap hingga ke dasar, artinya logam tersebut hanya akan berada di dekat permukaan air dalam waktu yang sesaat saja untuk kemudian mengendap lagi. Pengendapan logam berat akan meningkatkan konsentrasi logam tersebut dalam sedimen. Sehingga, mempengaruhi keberadaan logam berat dalam hemosit kijing.

### 2.5.2 pH

Menurut Notohadiprawiro (2006), pH berpengaruh langsung atas kelarutan unsur logam berat. Kenaikan pH menyebabkan logam berat mengendap. Secara tidak langsung pH dipengaruhi oleh kapasitas tukar kation (KTK). Sebagian KTK berasal dari muatan tetap dan sebagian lagi berasal dari muatan tambahan (*variable charge*). Menurut Madjid (2012), KTK muatan permanen atau tetap adalah jumlah kation yang dapat dipertukarkan pada permukaan koloid liat dengan sumber muatan negatif berasal dari *mekanisme substitusi isomorf*. *Substitusi isomorf* adalah mekanisme pergantian posisi antar kation dengan ukuran atau diameter kation hampir sama tetapi muatan berbeda. Substitusi isomorf ini terjadi dari kation bervalensi tinggi dengan kation bervalensi rendah di dalam struktur lempeng liat, baik lempeng liat *Si-tetrahedron* maupun *Al-oktahedron*.

KTK muatan tidak permanen atau muatan tambahan adalah jumlah kation yang dapat dipertukarkan pada permukaan koloid liat dengan sumber muatan negatif liat bukan berasal dari mekanisme substitusi isomorf tetapi berasal dari mekanisme patahan atau sembulan di permukaan koloid liat, sehingga tergantung pada kadar  $H^+$  dan  $OH^-$  dari larutan tanah. Muatan terubahkan tergantung pada pH yang meningkat sejalan dengan peningkatan pH. Maka peningkatan pH membawa peningkatan KTK. Logam berat terjerap lebih banyak atau lebih kuat sehingga mobilitasnya menurun. Menurut Palar (1992) dalam Fitriyah (2007), kelarutan logam dalam air di kontrol oleh pH air. Kenaikan pH menurunkan logam dalam air. Sehingga mengendap di dasar perairan. Apabila kijang memakan bahan organik yang bercampur dengan logam berat maka konsentrasi logam berat akan bertambah tinggi pada hemositnya.

### 2.5.3 Oksigen terlarut atau *dissolved oxygen* (DO)

Oksigen terlarut merupakan faktor pembatas bagi kehidupan organisme.

Perubahan konsentrasi oksigen terlarut dapat menimbulkan efek langsung yang berakibat pada kematian organisme perairan. Sedangkan pengaruh yang tidak langsung adalah meningkatkan toksisitas bahan pencemar yang pada akhirnya dapat membahayakan organisme itu sendiri. Hal ini disebabkan oksigen terlarut digunakan untuk proses metabolisme dalam tubuh dan berkembang biak (Rahayu, 1991 dalam Irawan *et al.*, 2009).

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. Pada lapisan permukaan, kadar oksigen akan lebih tinggi, karena adanya proses difusi antara air dengan udara bebas serta adanya proses fotosintesis. Dengan bertambahnya kedalaman akan terjadi penurunan kadar oksigen terlarut, karena proses fotosintesis semakin berkurang dan kadar oksigen yang ada banyak digunakan untuk pernapasan dan oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik.

Keperluan organisme terhadap oksigen relatif bervariasi tergantung pada jenis, stadium dan aktifitasnya. Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Selain itu, oksigen juga menentukan biologis yang dilakukan oleh organisme aerobik atau anaerobik. Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrisi yang pada akhirnya

dapat memberikan kesuburan perairan. Dalam kondisi anaerobik, oksigen yang dihasilkan akan mereduksi senyawa-senyawa kimia menjadi lebih sederhana dalam bentuk nutrien dan gas. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan rumah tangga. Sebagaimana diketahui bahwa oksigen berperan sebagai pengoksidasi dan pereduksi bahan kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun (Salmin, 2005).

Oksigen juga sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk pernapasan. Organisme tertentu, seperti mikroorganisme, sangat berperan dalam menguraikan senyawa kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. Karena peranannya yang penting ini, air buangan industri dan limbah sebelum dibuang ke lingkungan umum terlebih dahulu diperkaya kadar oksigennya (Salmin, 2005).

Menurut Pararaja (2009), pada daerah yang kekurangan oksigen, misalnya akibat kontaminasi bahan-bahan organik, daya larut logam berat akan menjadi lebih rendah dan mudah mengendap. 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. Materi organik yang mengandung logam berat tersebut akan masuk ke tubuh kijing sehingga terakumulasi dalam darahnya.

#### **2.5.4 Alkalinitas**

Alkalinitas merupakan penyangga (*buffer*) perubahan pH air dan indikasi kesuburan yang diukur dengan kandungan karbonat. Alkalinitas adalah kapasitas air untuk menetralkan tambahan asam tanpa penurunan nilai pH larutan (Alaerts

dan Ir. S. Sumetri. S *dalam* Wikipedia 2012). Alkalinitas mampu menetralkan keasaman di dalam air, Secara khusus alkalinitas sering disebut sebagai besaran yang menunjukkan kapasitas *pembufferan* dari ion bikarbonat, dan tahap tertentu ion karbonat dan hidroksida dalam air. Ketiga ion tersebut dalam air akan bereaksi dengan ion hydrogen sehingga menurunkan keasaman dan menaikkan pH. Alkalinitas optimal pada nilai 90-150 ppm (Wikipedia, 2012).

Ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) normal ada pada rang pH 6.0 – 8.3. Bikarbonat ion berinteraksi dengan  $\text{CO}_2$  terlarut dan ion karbonat ( $\text{CO}_3^-$ ) mengontrol pH. Ion karbonat mendominasi pada saat pH > 9.5, kehadiran asam ion karbonat menyerap ion hydrogen bebas ( $\text{H}^+$ ) ke dalam bentuk ion bikarbonat. Penghilangan ion hydrogen akan mengontrol pH. Ion bikarbonat akan menyerap ion hydrogen ketika pH kurang dari 8.0, karena bikarbonat dikonversi menjadi gas  $\text{CO}_2$  terlarut. Dengan demikian pH dapat dikontrol dengan cara memanipulasi ion karbonat, bikarbonat dan gas karbondioksida di dalam air. Air laut normal mempunyai alkalinitas 116 ppm, sedangkan air tawar 40 ppm, tapi nilai rangnya ada pada kisaran 20 – 300 ppm (Van Wyk & Scarpa, 1999 *dalam* TetraPoik, 2011). Berikut ini adalah tabel kualitas air berdasarkan alkalinitas (Swingle, 1968 *dalam* Aria, 2009):

Tabel 1. Hubungan alkalinitas dan kondisi perairan

No	Alkalinitas	Kondisi Perairan
1	0 – 10	Tidak dapat dimanfaatkan
2	10 – 50	Alkalinitas rendah, kematian mungkin terjadi, $\text{CO}_2$ rendah, pH bervariasi, dan perairan kurang produktif
3	50 – 200	Alkalinitas sedang, pH bervariasi, $\text{CO}_2$ sedang, produktivitas sedang >500 pH stabil, produktivitas rendah, ikan terancam.