

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tiram

2.1.1 Biologi Tiram

Tiram adalah golongan bivalvia yang memiliki cangkang setangkup, yang biasa dikenal dengan oyster. Tiram banyak ditemukan pada daerah pasang surut dan menempel pada permukaan substrat yang keras seperti bebatuan. Tiram merupakan salah satu sumberdaya laut yang sering ditemukan di Indonesia. Tiram tumbuh menempel pada substrat keras di pantai. Berbagai macam spesies dari tiram telah banyak ditemui pada hampir semua pantai yang ada di Indonesia. Tiram dapat disebut sebagai organisme *filter feeder* karena kemampuannya dalam mendapatkan makanan dengan cara menyaring air yang ada di sekitar tempat hidupnya. Makanan tiram berupa bahan organik tersuspensi termasuk fitoplankton dan bakteri (Arfiati *et al.*, 2007). Tiram umumnya dapat dijumpai menempel pada bebatuan, tiang-tiang pelabuhan, karamba, dan pada pohon-pohon di daerah pantai yang terkena pasang surut (Irianto *et al.*, 1994).

Menurut Widiastuti (1998), Di wilayah pesisir tiram dapat menjadi komoditas yang dimanfaatkan untuk kegiatan ekonomi masyarakat. Tiram dapat dimanfaatkan sebagai tambahan penghasilan masyarakat pesisir baik dalam bentuk tiram utuh ataupun dengan bentuk olahan lain. Tiram *Crassostrea cucullata* hidup menempel pada tegakan dan akar mangrove.

Tiram merupakan kelompok moluska dari kelas Bivalvia, yang hidup di habitat laut atau air payau (Quayle & New Kirk, 1989 dalam Santoso, 2010). Salah satu spesies tiram yang terdapat di perairan Indonesia adalah *Crassostrea cucullata*. Spesies tiram ini bernilai ekonomis tinggi dan merupakan komoditas ekspor.

2.1.2 Klasifikasi

Terdapat 2 genus tiram yang menjadi objek penelitian yaitu *Crassostrea glomerata* dan *Crassostrea cucullata*, berikut merupakan klasifikasi dari tiram tersebut :

2.1.2.1 Klasifikasi *Crassostrea glomerata*

Menurut Zipcodezoo (2014), klasifikasi tiram *Crassostrea glomerata* adalah sebagai berikut:

Kingdom : Animalia
Phylum : Mollusca
Class : Bivalvia
Order : Ostreida
Family : Ostreidae
Genus : *Crassostrea*
Species : *Crassostrea glomerata*



Gambar 1. *Crassostrea glomerata* (Zipcodezoo, 2014)

2.1.2.2 Klasifikasi *Crassostrea cucullata*

Klasifikasi *Crassostrea cucullata* menurut Zipcodezoo (2017), adalah sebagai berikut :

Kingdom : Animalia
Phylum : Mollusca

Class : Bivalvia
Order : Pteriomorpha
Family : Ostreidae
Genus : Crassostrea
Species : *Crassostrea cucullata*



Gambar 2. *Crassostrea cucullata* (Zipcodezoo, 2014)

2.1.3 Anatomi

Terdapat tiga lapisan pada cangkang tiram, yaitu periostrakum layer, prismatic layer dan nakreas layer (Fitriawan, 2010). *Crassostrea* adalah golongan kerang-kerangan yang mempunyai cangkang standar secara umum dikenal dengan nama *oyster*. Cangkang ini terdiri dari dua macam yaitu bagian bawah berbentuk seperti mangkok, bagian ini menempel pada substrat. Sedangkan bagian atas merupakan penutup umumnya berbentuk relatif datar. Tiram genus ini sangat dipengaruhi oleh tempat hidupnya (Galtsoff, 1964).

Tiram mempunyai bagian permukaan yang luas, permukaan tersebut dibentuk oleh ribuan benang filamen. Insang dapat mempertahankan kestabilan air yang masuk di dalam tubuhnya karena gerakan silia. Insang tiram terdiri dari empat lembaran insang dan pada masing-masing lembaran terdiri dari benang-benang dan dilengkapi dengan silia. Tiram memiliki insang yang mempunyai rambut-rambut getar dan menimbulkan arus air yang mengalir masuk ke dalam

mantelnya, sekaligus menyaring makanan dan memperoleh oksigen untuk respirasi (Nontji, 2002).

Tiram jenis *Crassostrea glomerata* mempunyai ukuran panjang, lebar, dan tinggi yang lebih besar untuk mengakumulasi logam berat, rata-rata ukuran cangkang tiram dengan panjang sebesar 3,5 – 7cm, lebar 1,7- 5,3 cm dan tinggi 1,1- 3,4 cm. ukuran tiram dipengaruhi juga oleh kondisi lingkungan tempat tiram tersebut berasal (Wulandari, 2012). Tiram *Crassostrea glomerata* merupakan tiram yang cukup banyak ditemukan di pesisir Jawa Timur. Tiram merupakan hewan yang tidak memiliki tulang belakang dan bertubuh lunak. Tiram *Crassostrea glomerata* tergolong dalam hewan yang memiliki cangkang keras dan bentuk tubuh yang tidak simetris (Jamilah, 2015).

Tiram *Crassostrea cucullata* mempunyai mempunyai cangkang yang keras berukuran Panjang 40 mm dan lebar 30 mm berbentuk oval dengan garis tringular. Garis hinge lurus dan pendek serta mempunyai ligament yang pendek juga. Permukaan luar dari kedua katup kiri dan kanan berwarna putih ke ungu-unguan dengan warna ungu gelap di batas cangkang, cangkangnya berbentuk cembung dengan ukuran dorso-ventral (Syazili, 2011).

2.1.4 Fisiologi Tiram

Bivalvia adalah moluska yang secara tipikal mempunyai dua katup, dan kedua bagiannya lebih kurang simetris. Kerangkanya disusun oleh kalsifikasi katup yang ada di sisi kanan dan kiri tubuh. Katupnya dikatupkan di sepanjang tepi dorsal yang disebut hinge, dan dihubungkan oleh struktur kapur yang elastis yang disebut ligamen. Mereka ditutup dengan aksi menarik satu atau dua (kadang tiga) otot aduktor. Byssus atau kaki menonjol keluar dari anterior kerangkanya, dimana posterior dari kerangkanya adalah dimana ada tonjolan siphon. Sistem saraf bivalvia pada dasarnya sederhana dengan bilateral simetris yang terdiri dari tiga

pasang ganglia dan beberapa pasang saraf. Masing - masing ganglia otak berupa dua pasang tali saraf yang meluas ke bagian posterior. Sedangkan satu pasang lainnya dapat mencapai kembali ke ganglion visceral yang terletak pada permukaan adduktir posterior. Kebanyakan kerang adalah filter feeder, tetapi ada beberapa yang scavenger (pemakan bangkai) atau bahkan predator. Di dunia, ada 10.000 spesies kerang (Poutiers, 1998 *dalam* Insafitri, 2010).

Sistem sirkulasi terdiri atas jantung yang terletak di bagian dorsal dalam rongga pembuluh dalam rongga perkardium. Jantung terdiri atas dua aurikel (di bagian ventral) dan sebuah ventrikel (di bagian dorsal). Ventrikel berlanjut aorta yang terdiri atas aorta anterior yang berfungsi memasok darah ke kaki, lambung dan mantel. Selain itu juga terdapat aorta posterior yang berfungsi memasok darah ke rektum dan mantel. Darah dari mantel yang sudah mengalami oksigenasi kembali secara langsung menuju jantung, sedangkan darah yang bersirkulasi melalui sejumlah ruangan di dalam tubuh akhirnya mengalir menuju vena cava yang terletak di bawah perikardium untuk selanjutnya dibawa menuju ginjal. Dari ginjal kemudian ke insang untuk mendapatkan oksigen dan akhirnya melalui aurikel menuju ventrikel jantung. Nutrisi dan oksigen dibawa oleh darah ke semua bagian tubuh, sedangkan karbondioksida dan sisa metabolisme dibawa ke insang dan ginjal. Sistem peredaran darah bivalvia ini merupakan sistem peredaran darah terbuka. Hal ini dikarenakan darah masuk ke dalam ruang terbuka pada satu titik selama peredarannya. Apabila terjadi kerusakan pada jaringan bivalvia maka akan terjadi peredaran darah sangat lambat yang melalui permukaan tubuh. Proses ini berlangsung secara berkelanjutan yang bisa dipercepat oleh kondisi yang merugikan terutama oleh luka pada suatu jaringan (Galtsoff, 1964).

2.1.5 Makanan dan Kebiasaan Makan

Tiram bersifat *filter feeder* non selektif sehingga kandungan logam berat yang relatif cukup tinggi tidak dapat ditemukan di dalam tubuhnya karena terjadinya proses akumulasi. Akumulasi logam berat sering terjadi pada kerang. Akumulasi inilah dapat menyebabkan keracunan bagi masyarakat yang mengonsumsinya karena toksisitasnya yang tinggi (Peeret *et al.*, 2010).

Sebagian besar kerang merupakan *ciliary feeder*, *deposit feeder* maupun *filter feeder*. Cilia memegang peran penting dalam mengalirkan makanan ke mulut. Saluran pencernaan terdiri atas mulut, esophagus yang pendek, lambung yang dikelilingi kelenjar pencernaan, usus, rectum, anus, dan kloaka. Semua *Pelecypoda* tidak memiliki radula karena semua makanan yang masuk ke mulut sudah disortir oleh palp (Suwignyo *et al.*, 1998). Pada waktu perairan pasang ketersediaan makanan cukup tinggi. Pasang air laut menyebabkan melimpahnya plankton dan zat tersuspensi lainnya yang dibawa oleh air laut dalam keadaan pasang. Apabila air laut surut maka ketersediaan makanan cenderung sedikit (Eddy, 2013).

Makanan yang diserap oleh tiram berlangsung setiap hari. Makanan tiram itu sendiri tidak hanya bakteri, zat organik, jamur dan jenis fitoplankton lainnya, namun juga berasal dari semua bahan yang tersuspensi yang ada di dalam air. Pada waktu perairan pasang ketersediaan makanan cukup tinggi. Pasang air laut menyebabkan melimpahnya plankton dan zat tersuspensi lainnya yang dibawa oleh air laut dalam keadaan pasang. Apabila air laut surut maka ketersediaan makanan cenderung sedikit (Parenrengi *et al.* 1998).

Makanan yang sudah sampai di mulut akan masuk ke esophagus diteruskan ke lambung. Makanan akan dipecah-pecah dalam proses pencernaan kemudian yang tercerna dalam lambung akan diserap. Partikel makanan yang relative besar dan belum tercerna di lambung akan di masukkan ke *crystalline style*

sac untuk dicerna lebih lanjut. Proses pencernaan di lambung dan *crystalline sac* selain dipecah - pecah juga akan dibantu oleh enzim yang ada di dalamnya. Sesudah itu makanan akan masuk ke usus, partikel makanan yang sudah dicerna akan didorong oleh silia untuk dimasukkan ke dalam vakuola dan sel-sel digestif kemudian diaktifkan oleh enzim yang diedarkan ke sel-sel lain (Galtsoff, 1964).

Tiram dan kerang memiliki kebiasaan yang sama yaitu menyerap partikel halus yang ada di perairan atau yang disebut dengan filter feeder. Masuknya logam berat dalam tubuh tiram melalui cara makannya yaitu saat tiram menyaring partikel halus makanannya disaat itu juga partikel logam berat dalam perairan akan ikut terserap dan akan terakumulasi dalam tubuh tiram (Fauziyah *et al.*, 2012).

Sistem pencernaan tiram dimulai dari mulut yang terletak diantara dua pasang palpus labialis kemudian ke bagian esophagus yang pendek. Organ inti berlanjut ke lambung yang terletak disebelah dorsal masa visceral, lalu usus di bagian dorsal kaki, rektum diselubung oleh jantung dan berakhir ke anus. Makanan kerang terdiri atas partikel organik yang terbawa oleh air melalui sifon ventral kemudian oleh gerakan silia yang terdapat pada palpus labialis partikel makanan tersebut dibawa ke mulut. Posisi yang terletak dekat dengan lambung terdapat kelenjar pencernaan yaitu pada hati yang akan mensekresikan cairan pencernaan untuk selanjutnya dibawa ke lambung melalui suatu saluran. Feses yang keluar dari anus akan dikeluarkan dari tubuh bersama aliran air yang menuju ke sifon dorsal (Yusuf, 2005).

Tiram termasuk *filter feeder* yaitu jenis hewan yang mendapatkan makanan dengan jalan menyaring air yang masuk ke dalam tubuhnya. Volume air yang dapat disaring oleh kerang adalah 2,5 liter per individu dewasa per jam. Makanan yang masuk bersama air tadi digerakkan, diperas, lalu dicerna dengan bantuan cilia (rambut getar) pada tubuhnya. Cilia mampu bergerak 2-20 kali per detik. Makanan kerang dapat berupa zooplankton, fitoplankton, bakteri, flagellata,

protozoa, detritus, alga dan berbagai zat yang tersuspensi dalam perairan tempat tinggalnya. Alat pencernaannya terdiri dari mulut yang tidak berahang atau bergigi, sepasang labial palps yang bercilia, esophagus, lambung, usus, rectum dan anus. Selain alat pencernaan, di dalam tubuh kerang terdapat pula hati yang menyelubungi dinding lambung, ginjal, pembuluh darah dan pembuluh urat saraf (Ricomarsen, 2010).

2.1.6 Habitat

Tiram merupakan moluska dari kelas bivalvia yang tinggal menetap pada suatu substrat dan dipengaruhi oleh kualitas air yang terkait dengan faktor ekologi serta relatif lebih banyak mengakumulasi logam berat. Tiram ini umumnya ditemui hidup menempel pada batu, tiang-tiang pelabuhan, karamba dan pada akar-akar pohon di daerah yang terpengaruh pasang surut air laut (Irianto *et al.*, 1994). Tiram yang tinggal pada substrat yang lunak dan berlumpur cenderung berkelompok, ramping atau langsing dengan hiasan garis-garis tubuh yang jarang. Sedangkan yang hidup pada perairan dengan arus agak kuat bentuknya lebih membulat (radial) (Galtsoff, 1964).

Crasostrea cucullata banyak di temui di daerah Jawa, dan Sumatra dan Malaysia itu di sebabkan adanya kesamaan suhu dan habitatnya. *Crassostrea cucullata* yang terdapat di daerah Jawa Timur memiliki jumlah dan ukuran yang lebih besar dibandingkan daerah lain di wilayah pesisir Jawa lainnya. Hal ini dikarenakan melimpahnya bahan organik dan habitat yang sangat mendukung perkembangan dari tiram ini (McKinnon and Phillipps, 1993). Daerah distribusi tiram meliputi perairan Indo-Pasifik mulai dari Laut Merah dan Afrika Timur hingga Australia dan Jepang (Asriyanti, 2012). Tiram mendominasi ekosistem litoral (wilayah pasang surut) dan sublitoral yang dangkal termasuk pantai berbatu di perairan terbuka maupun estuaria serta dapat hidup pada perairan sekitar

mangrove dan muara sungai dengan kondisi lingkungan yang dasar perairannya berlumpur dan berpasir (Musthaphia, 2001). Bivalvia merupakan hewan sesil yang tersebar di perairan pesisir seperti estuari, dengan dasar perairan lumpur bercampur pasir. Beberapa spesies Bivalvia hidup pada substrat yang lebih keras seperti lempung, kayu atau batu serta sedikit yang hidup di daratan (Pratama, 2005).

2.2 Hemosit

Hemosit adalah sel-sel yang berada di dalam hemolim. Total hemosit merupakan jumlah hemosit secara keseluruhan yang terdapat pada tiram tersebut, yang meliputi sel hyalin, semi granular dan sel granular. Mekanisme pertahanan Bivalvia melibatkan sirkulasi sel darah yang disebut hemosit. Hemosit merupakan salah satu jalur utama pertahanan terhadap partikel asing. Hemosit terdapat dalam hemolim yang beredar ke seluruh organ dan berperan untuk menentukan pertahanan internal melalui fagositosis. Setiap perubahan dalam metabolisme pada Bivalvia akan dicerminkan melalui penggambaran darah

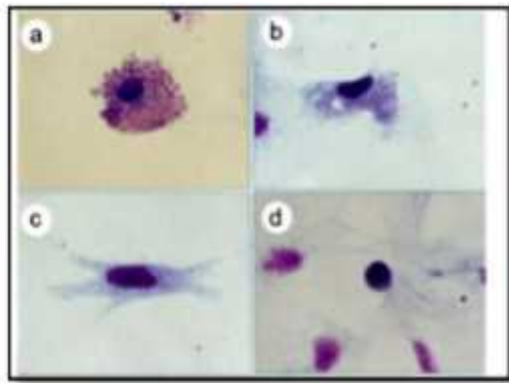
Hemosit terlibat dalam fagositosis, yaitu sebuah proses eliminasi terhadap partikel asing yang masuk ke dalam tubuh. Dari dua jenis haemocyte, hanya hyalinocytes yang terlibat dalam fagositosis di bivalvia moluska (Bache're *et al.*, 1995 *dalam* Cheng, 2004). Menurut Cheng (1981) *dalam* Gagnaire (2007), mekanisme pertahanan internal dari bivalvia melibatkan sirkulasi sel yang disebut hemosit. Pada tiram *Crassostrea* terdapat dua tipe hemosit yang dibedakan berdasarkan morfologinya yaitu hyalinosit dan granulosit. Hemosit terlibat dalam pertahanan terhadap pathogen dan eliminasi pathogen oleh mekanisme fagositosis dan enkapsulasi.

Hemolim Bivalvia seperti sel hemosit dapat digunakan sebagai biomarker atau *stressor* kondisi lingkungan, hipoksia, infeksi parasit, logam berat dan

polutan. Pada Bivalvia, hemosit berperan dalam melakukan berbagai fungsi, seperti perbaikan sel, pencernaan, pengangkutan nutrisi, ekskresi dan sistem pertahanan kekebalan tubuh (Cima *et al.*, 2000). Mekanisme aktivasi hemosit adalah dimulai dari pengenalannya terhadap material asing maupun adanya mikroorganisme yang diperantarai oleh hemosit dan protein plasma. Pengenalan terhadap material asing dilakukan oleh protein yang disebut sebagai protein pengenal. Protein pengenal selanjutnya akan mengenali benda asing atau mikroorganisme tersebut melalui ikatan dengan senyawa karbohidrat yang terdapat pada komponen dinding sel seperti lipopolisakarida (LPS) dan peptidoglikan (PG) dari dinding sel bakteri serta β – glucan dari dinding fungi. Setelah protein pengenal (lektin) ini berikatan dengan komponen material asing maupun mikroorganisme, baru kemudian hemosit mulai teraktivasi. Aktivitas hemosit menghasilkan respon berupa penggumpalan (*clotting*), degranulasi serta aktivitas proPO. Hemosit yang teraktivasi juga akan memberikan respon berupa pelepasan faktor kemotaksis yang selanjutnya akan menghasilkan infalmasi sebagai mana terjadi pada vertebrata umumnya. Akibat pengeluaran faktor kemotaksis ini menyebabkan sel-sel hemosit tertarik dan migrasi ke daerah invasi (Purbomatono dan Husin, 2014).

Menurut Ottaviani (2006) *dalam* Wijayanti *et al.* (2018), tingginya persentase granulosit dan rendahnya persentase hyalinosit akan meningkatkan sistem kekebalan tubuh yang akan mengurangi kerentanan terhadap serangan penyakit. Pada saat pengenalan sel hyalinosit kepada partikel asing, nukleus akan melepaskan enzim yang disebut enzim lektin, yaitu enzim yang akan bereaksi dengan permukaan sel dan meningkatkan PPA (*Prophenoloxidase Activating enzyme*). PPA ini merupakan bagian dari sistem kekebalan tubuh yang bertanggung jawab terhadap pengenalan partikel asing dalam sistem kekebalan tubuh Bivalvia.

Menurut Foley *et al.* (1975) dalam Hurtado (2011), Fagositosis pada hemosit merupakan mekanisme pertahanan internal pada molluska Bivalvia, baik pada tiram maupun kerang, kedua jenis hemosit yaitu sel granulosit dan sel hyalinosit memiliki kemampuan untuk fagositosis, namun sel granulosit lebih aktif daripada sel hyalinosit. Menurut Saha *et al.* (2010), hyalinosit merupakan sel-sel berbentuk seperti gelondong, dimana fase inti dalam bentuk bulat dan sitoplasmanya dapat dibedakan dalam kondisi bernoda. Penampilan semigranulosit berbentuk bulat besar ditengah inti dengan pinggiran tipis sitoplasma yang mengelilingi inti. Sedangkan granulosit berbentuk bulat dengan inti besar dan sitoplasma yang berbentuk butiran-butiran bulat. Hemosit dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hemosit *Meretrix lusoria* yang diwarnai dengan Mei-grunwald giemsa pada mikrograf cahaya (a) eosinophilic besar granulosit; (b) granulosit eosinophilic ;(c) hyalinosit (d) blast-like sel. *Cassostrea gigas* (Chang *et al.* 2005)

Menurut Pipe (1995), Mekanisme pertahanan Bivalvia melibatkan fagositosis oleh sirkulasi hemosit Bivalvia. Tahapan fagositosis yaitu tahap pengenalan (*recognition*), kemotaksis, *attachment*, penggabungan (*incorporation*) dan penghancuran (*destruction*). Namun ada mekanisme lain yang dapat dilakukan sebagai mekanisme pertahanan Bivalvia yaitu enkapsulasi. Menurut Beatrice *et al.* (2007), hemosit berfungsi untuk memerangi pathogen dan melawannya dengan cara enkapsulasi dan fagositosis.

2.3 Respon Imun Bivalvia terhadap Bahan Pencemaran

Menurut Mori (1990) dalam Alifuddin (2002), respon Imunitas merupakan upaya proteksi terhadap infeksi dari paparan asing. Terdapat 2 jenis respon imunitas yaitu terdiri dari respon imunitas alamiah atau non spesifik (*innate immunity*) dan respon imun adaptif atau spesifik (*acquired immunity*), oleh karena itu memori, spesitifitas dan pengenalan zat asing merupakan dasar mekanisme respon imunitas pada hewan akuatik.

Sistem imun spesifik yaitu sistem imun yang mempunyai kemampuan untuk mengenal benda yang dianggap asing bagi dirinya, termasuk pathogen. Benda asing yang pertama kali masuk ke tubuh segera dikenal oleh sistem imun spesifik. Masuknya benda asing tersebut menimbulkan sensitifitasi, sehingga antigen yang sama dan masuk ke tubuh untuk kedua kali lebih cepat dikenali dan kemudian dihancurkan. Oleh karena itu sistem tersebut disebut spesifik (Ningtyas, 2014). Sedangkan sistem imun non spesifik yaitu respon yang mampu dengan cepat dan efisien mengenal dan menghancurkan material asing, termasuk pathogen yang masuk ke dalam tubuh organisme. Respon imun non spesifik memiliki memori yang sangat lemah atau bahkan tidak memiliki sel memori untuk mengidentifikasi material asing yang masuk ke dalam tubuh organisme tersebut (Ramu dan Zacharia, 2000). Sehingga pada sistem imun non spesifik ini membutuhkan waktu yang lama untuk mengenali dan menghancurkan material asing yang sama masuk ke dalam tubuh untuk yang kedua kalinya. Respon imun non spesifik terdiri atas respon selular dan respon humoral (Manoppo *et al.*, 2014). Sistem pertahanan selular meliputi sel-sel fagosit dan enkapsulasi, sedangkan sistem pertahanan humoral meliputi *phenoloksidase* (PO), ProPhenoloksidase (ProPO), lektin dan aglutinin. Kedua sistem tersebut bekerja sama memberikan perlindungan tubuh terhadap material asing yang ada di lingkungan (Itami, 1994). Sistem imun selular merupakan suatu respon imun asli pada bivalvia yang di

dalamnya terdapat mekanisme pertahanan internal melalui *haemocyte* yang dipercaya sebagai pertahanan internal. Unsur tersebut memainkan peran esensial pada inflamasi dan perbaikan luka di samping fagositosis dan enkapsulasi dari material yang bukan bersal dari dalam dirinya (Chu, 2000).

Sistem pertahanan tubuh invertebrate tidak memiliki memori (kemampuan mengingat) terhadap antigen dan memproduksi antibodi untuk melawan patogen atau benda asing tertentu (Jiravanichpaisal *et al.*, 2006). Seperti hewan avertebrata yang lain, tiram tidak memiliki antibodi dan mekanisme pertahanan tubuh yang berupa sistem imunitas dapatan (*adaptif/acquired immune system*). Oleh karena itu mekanisme pertahanan tubuhnya sangat mengandalkan sistem imunitas bawaan (*natural/innate immune system*) dalam membasmi patogen yang masuk ke dalam tubuhnya. Sistem sirkulasi bivalvia adalah sistem terbuka dengan hemolim (Aladaileh *et al.*, 2007).

Ketika hemosit mengandung *prophenoloxidase* dan dalam bentuk aktif dari *prophenoloxidase*, sel hyaline akan merespon sejumlah kontaminasi *phenoloxidase* tersebut dalam bentuk H_2 . Kontaminasi *phenoloxidase* dapat dideteksi dengan menggunakan enzim L-dopa (*dihydroxyphenylalanine*) dan tripsin. Setelah aktif, fenoloksidase akan melekat pada partikel asing lainnya dan di degradasi oleh sel hyaline (Smith dan Soderhall, 1983). Menurut Le Moullac dan Haffner (2000) *dalam* Liu (2004), meningkatnya aktivitas Fenoloksidase akan menurunkan nilai dari *Total Haemocyte Count* (THC).

Menurut Sui (2016), Bivalvia memiliki sistem kekebalan tubuh terhadap penyakit, parasit dan tekanan lingkungan melalui imunitas mereka yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Sistem kekebalan tubuh Bivalvia disebut dengan hemosit. Hemosit memiliki kemampuan fagositosis sebagai sistem kekebalan terhadap partikel asing. Hemosit melepaskan berbagai enzim hidrolitik dan mampu menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS), keduanya terlibat

dalam penghancuran partikel asing yang berbahaya. Oleh karena itu fungsi hemosit berhubungan erat dengan kesehatan kerang dan respon imun sangat membantu dalam memprediksi kondisi suatu lingkungan.

2.4 Respon Hemosit Sebagai Penanda Pencemaran

Bahan pencemar masuk ke tubuh tiram melalui *uptake pasif* dan *uptake active*. Uptake pasif dapat melalui adsorpsi (penjerapan), absorbs (penyerapan) dan biosorpsi (bioakumulasi), sedangkan uptake active dapat melalui rantai makanan (Muhardi *et al*, 2006). Menurut Johansson *et al.* (2010), jumlah hemosit dapat sangat bervariasi dalam merespon tekanan lingkungan yang terjadi di sekitarnya, hemosit memainkan peran penting pada mekanisme pertahanan tubuh invertebrate yaitu menghilangkan partikel asing yang masuk ke tubuh organisme seperti tiram, yang meliputi beberapa tahapan yaitu tahap pengenalan, enkapsulasi dan fagositosis.

Menurut Renwratz, 1990 *dalam* Adema (1991), kepadatan hemosit dilaporkan dapat berubah karena dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti perubahan lingkungan yang tidak normal. Paparan logam berat dapat menurunkan kepadatan hemosit pada Bivalvia. Paparan toksin lingkungan yang akut dan sub akut dapat menyebabkan kerusakan substansial dalam morfologi sel darah. Paparan toksin sering menyebabkan tingkat kerusakan morfologi rendah hingga berbagai sub populasi hemosit. Menurut Gagnaire (2006), variasi suhu dapat mempengaruhi jumlah hemosit dan aktivitas fagositik serta peningkatan salinitas meningkatkan waktu penyebaran dan mengurangi pergerakan hemosit terhadap partikel target dan menimbulkan lebih banyak kerentanan tiram terhadap parasit. Hemosit merupakan sel yang resisten, namun peningkatan nilai suhu dan salinitas yang tinggi dapat membunuh sel hemosit tersebut. Menurut Gagnaire (2007), sel

granulosit pada hemosit lebih sensitif terhadap faktor lingkungan. Mekanisme Fagositosis pada hemosit meningkat setelah terjadi kenaikan suhu.

Menurut Gagnaire (2003), pencemaran merkuri dapat menyebabkan kematian sel, pencemaran merkuri secara langsung menyebabkan penurunan jumlah hemosit dan dengan demikian mengurangi kapasitas pertahanan diri dari tiram. Maka pada daerah yang terkontaminasi merkuri sistem pertahanan tubuh tiram berkurang dan meningkatkan potensi penyakit bahkan kematian bagi tiram. Menurut Cheng (2004), hemosit berada dalam tahap fagositosis yaitu sebuah proses eliminasi partikel asing yang berbahaya bagi tubuh, rendahnya konsentrasi DO (oksigen terlarut) akan menurunkan kekebalan tubuh dari tiram dan menyebabkan kerentanan terhadap penyakit.

Menurut Dean dan Vernberg (1966) *dalam* Le Moullac (2000), menyebutkan bahwa Suhu air adalah variabel lingkungan yang paling penting karena secara langsung mempengaruhi metabolisme, konsumsi oksigen, pertumbuhan, moulting, kelangsungan hidup dan mempengaruhi kadar pembekuan serta total hemosit yang ada di dalam tubuh sehingga perubahan kualitas perairan akan secara langsung mempengaruhi total hemosit yang ada pada organisme tersebut. Menurut Pipe (1995), Bivalvia memiliki sistem pertahanan internal pada tubuhnya, fungsi sistem pertahanan internal tersebut dipengaruhi oleh hemosit yang ada dan serangkaian protein immunoglobulin yang disekresikan oleh hemosit. Hemosit Bivalvia dilengkapi dengan enzim degradatif yang mampu menghancurkan pathogen. Aktivitas atau pelepasan enzim ini juga dapat dipengaruhi oleh kontaminan lingkungan.

Menurut Delaporte *et al.* (2003), mengatakan bahwa Bivalvia yang sehat lalu diinfeksi pathogen, akan mengalami peningkatan nilai THC karena dibutuhkan pertahanan tubuh untuk mengalahkan pathogen. Sel hemosit memiliki hubungan yang erat dengan lingkungan, dimana juga tiram hidup didaerah yang buruk makan

aktivitas hemositnya akan meningkat dan sebaliknya jika tiram hidup pada kondisi lingkungan yang normal maka aktivitas hemositnya akan normal juga.

Menurut Aisyah (2011), Bivalvia memiliki sistem kekebalan tubuh terhadap penyakit, parasit dan tekanan lingkungan melalui imunitas mereka yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, adanya logam berat Pb di perairan pada konsentrasi tertentu dapat menyebabkan penurunan kandungan granulosit. Pada kondisi normal granulosit mampu bertahan dan tidak terjadi peningkatan maupun penurunan atau berada dalam kondisi normal dengan meningkatkan logam berat Pb di perairan hingga mencapai titik maksimal (sesuai standar baku mutu). Tetapi apabila konsentrasi Pb di perairan semakin bertambah maka granulosit akan mengalami penurunan. Hal ini diakibatkan karena granulosit sudah tidak mampu mengakumulasi logam berat Pb yang terus mengalami peningkatan. Hubungan logam berat Pb dengan hyalinosit, adanya logam berat Pb pada konsentrasi tertentu akan meningkatkan jumlah hyalinosit. Namun penurunan Pb di perairan maka jumlah hyalinosit akan meningkat, hal ini diduga karena hyalinosit mengalami proses regenerasi. Sedangkan untuk logam berat Hg, adanya logam berat Hg di perairan pada konsentrasi tertentu dapat menyebabkan meningkatkan kandungan granulosit. Tetapi apabila konsentrasi Hg di perairan semakin bertambah maka granulosit akan mengalami penurunan. Hal ini diakibatkan karena granulosit sudah tidak mampu mengakumulasi logam berat Hg yang terus mengalami peningkatan. Hubungan logam berat Hg dengan hyalinosit, ada logam berat Hg pada konsentrasi tertentu akan meningkatkan jumlah hyalinosit. Namun penurunan Hg di perairan maka jumlah hyalinosit akan meningkat, hal ini diduga karena hyalinosit mengalami proses regenerasi. Pencemaran logam berat Hg di perairan dapat mempengaruhi granulosit dan hyalinosit tiram *Crassostrea* sp. yaitu sebesar 98,3 % dan 1,7 % dipengaruhi oleh faktor lain. Nilai tersebut didapat dari

menghitung nilai determinasi antara pencemaran logam berat dengan nilai hemosit yang didapat.

2.5 Parameter Kualitas Air

2.5.1 Parameter Fisika

a. Suhu

Menurut Romimohtarto (2001), suhu merupakan faktor fisika penting untuk kelangsungan hidup suatu organisme. Kenaikan suhu dapat mempercepat reaksi-reaksi kimiawi. Tiap perubahan suhu cenderung mempengaruhi banyak proses kimiawi secara bersama pada jaringan tanaman, hewan serta makhluk hidup semuanya. Menurut Hutabarat dan Evans (1985), kisaran suhu yang sesuai untuk kehidupan organisme perairan adalah berkisar antara 26-31°C. Menurut Bardach *et al.* (1972), Toleransi suhu untuk beberapa jenis tiram tidak sama, tetapi pada suhu 4°C sudah ditemukan tiram jenis *Ostrea edulis*. Sedangkan tiram *Crassostrea cucullata* dapat hidup hingga suhu 34°C.

Tiram dapat hidup dari perairan dingin sampai perairan panas yaitu dalam kisaran suhu 5-35 °C dengan kisaran optimum 11-34 °C dan masih bertahan pada suhu -5 °C (Nehring, 2011). Variasi suhu dapat mempengaruhi THC dan aktifitas fagosit pada bivalvia. Suhu air yang tinggi akan menghambat penyebaran dan pergerakan haemosit menuju benda asing dalam tubuh tiram. Selain itu, parasit virulensi dapat meningkat atau resistensi tiram dapat menurun pada suhu tinggi (Gagnaire *et al.*, 2006).

Menurut Irianto (1994), suhu akan mempengaruhi aktivitas metabolisme organisme. Suhu juga sangat berpengaruh terhadap kehidupan dan pertumbuhan biota perairan. Pada keadaan normal tiram mampu hidup dalam kisaran suhu 14 °C – 34 °C, pertumbuhan yang optimal bagi tiram adalah pada suhu 24 °C – 29 °C. Suhu air adalah variabel lingkungan yang paling penting karena secara langsung

mempengaruhi kadar pembekuan dan total hemosit yang ada di dalam tubuh sehingga nilai hemosit akan mempengaruhi total hemosit secara langsung.

2.5.2 Parameter Kimia

a. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau yang lebih dikenal sebagai pH (*Puissance negative de H*) adalah logaritma kepekatan ion-ion hydrogen yang terlepas kedalam suatu cairan. Derajat keasaman atau pH air menunjukkan aktivitas ion hydrogen dalam larutan tersebut dan dinyatakan sebagai ion hydrogen (dalam mol per liter) pada suhu tertentu (Kordi dan Ghufran, 2004). Derajat keasaman (pH) air berpengaruh terhadap meningkatnya kandungan amonia dan H₂S yang ada dalam perairan. Pada pH tinggi lebih banyak ditemukan senyawa amonia yang bersifat toksik. Hal ini disebabkan karena amonia lebih mudah terserap ke dalam tubuh bivalvia. Jika kadar pH dalam suatu perairan semakin meningkat maka akan dapat mengakibatkan meningkatnya kandungan amonia yang bersifat racun (Effendi, 2003).

Kelarutan logam dalam air dikontrol oleh pH air. Kenaikan pH menurunkan logam dalam air. Sehingga mengendap didasar perairan. Apabila bivalvia memakan bahan organik yang bercampur dengan logam berat maka konsentrasi logam berat akan bertambah tinggi pada hemositnya. Masuknya logam berat didalam perairan akan berinteraksi dengan berbagai faktor seperti derajat keasaman (pH) sehingga akan berpengaruh terhadap logam. Kenaikan pH dapat menurunkan logam dalam air, karena kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada air, sehingga akan mengendap yang dapat membentuk lumpur (Palar, 1994).

Menurut Wilson dan Louis (2000), dalam jaringan insang tiram, pada kondisi pH yang rendah dan CO₂ yang tinggi secara signifikan akan menurunkan

kemampuan tiram untuk mengambil respirasi. pH rendah dapat mengurangi metabolisme aerob dan secara berkelanjutan akan mengakibatkan peralihan menjadi metabolisme anaerob. Menurut Diederich (2006), mengatakan bahwa tiram mampu hidup dalam perairan dengan pH berkisar 6,8 – 9,25. Namun apabila kurang atau lebih dari kisaran pH tersebut maka kondisi tiram akan menjadi abnormal.

b. Oksigen Terlarut (DO)

Oksigen terlarut atau *Dissolved oxygen* (DO) adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa dan hanya sedikit larut di dalam air. Untuk mampu bertahan hidup, organisme sangat bergantung pada ketersediaan oksigen terlarut. Kehidupan tiram di air dapat bertahan dengan setidaknya memiliki DO sebesar 5 mg/l, selebihnya tergantung imun organisme, konsentrasi bahan pencemar, suhu dan sebagainya (Sastrawijaya, 1991).

Sumber utama oksigen terlarut dalam perairan yaitu penyerapan oksigen yang berasal dari udara melalui permukaan air dan dari proses fotosintesis (Barus, 2002). Keberadaan Logam berat dapat mempengaruhi tubuh organisme yakni mengganggu keberadaan haemosit pada tubuh organisme. Dimana Haemosit berfungsi dalam mengikat oksigen, maka apabila terhambat akibatnya kemampuan organisme dalam mengikat oksigen juga akan semakin kecil (Yulaipi *et al.*, 2013).

Menurut Salmin (2009), oksigen sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk pernapasan. Organisme tertentu seperti mikroorganisme, sangat berperan dalam proses dekomposisi bahan organik yang beracun menjadi senyawa yang sederhana yang bermanfaat. Menurut Le Moullac *et al.* (2000), kekurangan oksigen (hipoksia), dapat menyebabkan penurunan jumlah THC (*Total Haemocyte*

Count). Pada kondisi hipoksia menunjukkan penurunan jumlah THC terjadi pada pemeliharaan dengan oksigen terlarut terendah sebesar 1 mg/l selama 24 jam.

Menurut Pararaja (2009), pada daerah yang kekurangan oksigen terlarut, misalnya akibat dari kontaminasi bahan-bahan organik, daya larut logam berat akan menjadi lebih rendah dan mudah mengendap. Logam berat yang terlarut akan berpindah ke sedimen. Materi organik yang telah mengandung logam berat tersebut akan masuk ke dalam tubuh tiram sehingga terakumulasi pada darah tiram tersebut.

c. Ammonia

Menurut Beggel *et al.* (2017), Ammonia dan ammonium berada dalam kondisi antara beracun (tidak terionisasi) dalam bentuk NH_3 dan bentuk yang telah terionisasi NH_4^+ , dengan persentase bentuk racun akan meningkat pada kondisi pH yang meningkat dan toksisitas akan lebih besar pada suhu yang lebih tinggi. Jumlah sel hemosit dipengaruhi oleh tingginya konsentrasi ammonia nitrogen di perairan. Tingginya konsentrasi ammonia nitrogen di perairan akan menghasilkan sel hyalinosit yang kurang berlimpah dibanding dengan sel granulosit. Menurut Boyd (1993) dalam Pratipasen (2014), meningkatnya konsentrasi ammonia dalam air akan mengakibatkan akumulasi ammonia di dalam hemosit dan menyebabkan stress fisiologis atau bahkan dapat mengakibatkan kematian.

Ammonia dalam air memiliki 2 bentuk yaitu dalam bentuk ammonium (NH_4) dan ammonia (NH_3). Secara umum, peningkatan konsentrasi ammonia (NH_3) akan menurunkan kemampuan metabolisme dan menurunkan kekebalan tubuh serta mengakibatkan malfungsi fisiologis seperti tidak seimbang nya ionic dalam tubuh, pertumbuhan yang lambat, gangguan metabolisme pernafasan dan akhirnya prosentase mortalitas akan meningkat secara signifikan (Meinelt *et al.*, 2010). Efek toksikologi utama ammonia adalah dengan cepat menurunkan jumlah kadar

hemosit dan dapat menekan respon fisiologis serta menurunkan kekebalan tubuh dan meningkatkan kerentanan terhadap paparan partikel asing yang berbahaya (Xian *et al.*, 2011 *dalam* Zhang, 2015).

Amonia merupakan hasil ekskresi atau pengeluaran kotoran ikan yang berbentuk gas. Sebagian besar pakan yang dimakan oleh ikan akan dirombak menjadi daging atau jaringan tubuh, sedangkan sisanya dibuang berupa kotoran padat (*feces*) dan terlarut (amonia). Kadar amonia yang tinggi di dalam air secara langsung dapat mematikan organisme perairan melalui pengaruhnya terhadap permeabilitas sel, mengurangi konsentrasi ion tubuh, merusak insang dan mengurangi kemampuan darah mengangkut oksigen (Nurjanah, 2009). Menurut Effendi (2003), dari biota akuatik mempunyai limbah aktivitas metabolisme yang mengeluarkan amonia. Sumber amonia yang lain adalah reduksi gas nitrogen yang berasal dari proses difusi udara atmosfer, limbah industri, dan domestik. Amonia yang terdapat dalam mineral masuk ke badan air melalui erosi tanah. Amonia berada dalam bentuk gas dan membentuk kesetimbangan dengan gas ammonium di perairan pada suhu dan tekanan normal. Amonia bebas tidak dapat terionisasi, sedangkan ammonium (NH_4^+) dapat terionisasi. Prosentase amonia meningkat dengan meningkatnya pH dan suhu perairan. Pada pH 7 atau kurang, sebagian besar amonia akan mengalami ionisasi.

d. Fenol

Menurut Qadeer & Rehan (1998) *dalam* dewilda (2012), Senyawa fenol merupakan salah satu bahan pencemar yang sering menimbulkan masalah di lingkungan. Fenol merupakan senyawa yang dapat menimbulkan bau tidak sedap, bersifat racun dan korosif terhadap kulit (iritasi), menyebabkan gangguan kesehatan manusia dan kematian pada organisme yang terdapat pada air dengan nilai konsentrasi tertentu . Fenol terdiri dari rantai dasar benzene aromatik dengan

satu atau lebih kelompok hidroksil. Tingkat toksisitas fenol beragam tergantung dari jumlah atom atau molekul yang melekat pada rantai benzene-nya. Untuk fenol terklorinasi, semakin banyak atom klorin yang diikat rantai benzena maka semakin toksik rantai tersebut. Klorofenol lebih bersifat toksik pada biota air, seperti akumulasi dan lebih persisten dibanding dengan fenol sederhana. Fenol sederhana seperti phenol, cresol dan xilenol mudah larut dalam air dan lebih mudah didegradasi.

Fenol dikenal sangat reaktif terhadap jaringan tubuh manusia, dapat menyebabkan iritasi pada mata, hidung, dan tenggorokan. Fenol juga beracun terhadap sistem pernafasan dan dapat mengakibatkan rusaknya jaringan sistem saraf apabila termakan atau terhisap terus-menerus. Efek racun ini akan bertambah besar dengan banyaknya substituen yang terikat pada fenol terutama gugus klor (PUSARPEDAL, 2006 *dalam* Sukandar, 2010). Senyawa fenol seringkali dijumpai dalam lingkungan perairan yang berasal dari aliran air lumpur pemboran minyak bumi, buangan limbah rumah tangga, dan industri (Mulyono *et al.*, 1999 *dalam* Sukandar, 2010).

Senyawa fenol merupakan polutan yang sering ditemukan diperairan laut. Sumber pencemar di laut berasal dari tumpahan minyak mentah, tumpahan bahan bakar kapal maupun pembuangan limbah industri minyak bumi. Kehadiran senyawa fenol di laut dapat membahayakan kehidupan biota laut karena fenol bersifat toksik. Senyawa fenol dapat didegradasi oleh mikroorganisme pengurai fenol, namun jumlah dan kemampuan mikroorganisme pengurai fenol sangat terbatas karena sifat toksiknya (Dewilda, 2012).

Paparan fenol sebesar >10 ppb akan mengakibatkan lisis pada hemosit (Fries dan Tripp, 1980). Menurut Couch dan Fournie (2000), paparan fenol sebesar >1 ppb dapat merusak insang dan epitel pada saluran pencernaan serta meningkatkan kerentanan terhadap infeksi mikroba dan penyakit. Selanjutnya

paparan terhadap 10 ppb fenol secara substansial mengurangi kemampuan sel hemosit untuk melakukan pertahanan diri terhadap partikel asing.

Menurut Smith dan Soderhall (1983), Fenol dan senyawa fenolik merupakan yang menjadi salah satu faktor stres lingkungan pada biota yang terpapar dan telah menjadi masalah lingkungan akibat dampak antropogenik pada lingkungan yang ditimbulkannya Fenol dan senyawanya dapat menjadi salah satu bahan pencemar air yang masuk ke alam dan masuk ke dalam perairan melalui limbah cair dari berbagai industri antara lain seperti batubara, manufaktur fenol, farmasi, resin, cat, tekstil, kulit, petrokimia, pulpmill, limbah fenol juga dapat berasal dari pestisida non spesifik, herbisida, bakterisida dan fungisida maupun berasal dari berbagai proses industri yang digunakan pada gasifikasi batubara dan kilang minyak.

Paparan zat beracun termasuk fenol dapat merusak jaringan insang, sehingga hal ini dapat mengurangi konsumsi oksigen dan mengganggu fungsi osmoregulasi organisme air. Keadaan patologis insang yang semakin parah akibat paparan zat beracun dapat menyebabkan gangguan pernapasan dan akhirnya menyebabkan kematian organisme tersebut. Enzim *phenoloksidase* (PO) mendukung hidroksilasi phenol dan oksidasi phenol menjadi quinones yang diperlukan untuk proses melanisasi sebagai respon terhadap partikel asing yang masuk ke tubuh dan selama proses penyembuhan. Quinone selanjutnya diubah melalui suatu reaksi non-enzimatik menjadi melanin dan sering disebut sebagai deposit pada benda yang dienkapsulasi dalam nodule hemosit dan pada daerah kulit yang terinfeksi jamur (Sritunyalucksana *et al.*, 2001).

e. Logam Berat Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah

dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga bisa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal adalah logam lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2 (Sunarya, 2007). Timbal (Pb) termasuk kelompok logam berat yang belum diketahui manfaatnya untuk kehidupan organisme (non-esensial). Logam berat ini masuk ke perairan melalui run off, air sungai, angin, proses hidrotermal, difusi dari sedimen, dan kegiatan antropogenik (Libes, 1992).

Mekanisme pemasukan logam Pb ke dalam tubuh tiram *Crassostrea sp.* terkait dengan cara makan tiram yaitu filter feeder. Tiram memakan partikel dan materi organik, serta makhluk hidup yang tersuspensi di air. Tiram mengambil air laut masuk ke dalam tubuhnya melalui inhalant siphon yang akan melalui proses 15 penyaringan sebelum masuk ke mulut, partikel yang berukuran besar tidak mampu tersaring sehingga akan dikeluarkan kembali dari tubuhnya melalui exhalant siphon (Pechenik, 2005).

Menurut Nuria (2005), timbal atau timah hitam atau plumbum (Pb) adalah salah satu bahan pencemar utama saat ini di lingkungan. Hal ini bisa terjadi karena sumber utama pencemaran timbal adalah dari emisi gas buang kendaraan bermotor. Selain itu timbal juga terdapat dalam limbah cair industri yang pada proses produksinya menggunakan timbal, seperti industri pembuatan baterai, industri cat, dan industri keramik. Timbal digunakan sebagai aditif pada bahan bakar, khususnya bensin di mana bahan ini dapat memperbaiki mutu bakar. Bahan ini sebagai anti knocking (anti letup), pencegah korosi, anti oksidan, diaktifator logam, anti pengembunan dan zat pewarna.

Menurut Effendi (2003), timbal tidak termasuk dalam unsur esensial bagi makhluk hidup, bahkan Pb bersifat toksik bagi manusia dan hewan karena dapat terakumulasi, dan toksisitas timbal ini terhadap tumbuhan relatif rendah. Pb dapat secara alamiah terdapat pada badan air dan dapat juga sebagai dampak aktivitas

manusia. Timbal tidak dapat terurai dan dimusnahkan oleh zat lain. Timbal bersifat biomagnifikasi, yaitu dapat terakumulasi dan berada dalam jaringan tubuh organisme dalam waktu yang lama sebagai racun yang terakumulasi. Oleh karena itu, apabila timbal terlepas pada perairan akan mengancam kehidupan makhluk hidup. Menurut Nuria (2005), adanya timbal pada komponen lingkungan, memungkinkan berkembangnya transmisi pencemaran menjadi lebih luas kepada berbagai makhluk hidup, termasuk manusia sehingga menimbulkan gangguan kesehatan, seperti terganggunya sintesa darah merah, anemia, dan penurunan intelegensia pada anak.

f. Logam Berat Merkuri (Hg)

Menurut Hakim *et al.* (2003), bentuk awal dari pencemaran merkuri di lingkungan adalah dalam bentuk ion merkuri anorganik (Hg^{2+}) yang belum menunjukkan tingkat toksisitas yang tinggi karena hanya mikroorganisme yang dapat memanfaatkan sebagai penyusun tubuhnya, di dalam tanah endapan ion merkuri anorganik akan diubah oleh bakteri menjadi merkuri organik yaitu dalam bentuk metal merkuri dan etil merkuri yang terlarut. Metal merkuri yang terlarut di dalam perairan akan dimanfaatkan oleh plankton dan di dalam tubuh plankton konsentrasinya akan berlipan ganda. Menurut Victor (1990), pemaparan logam berat merkuri klorida dapat mengakibatkan pembesaran lamella insang dan terjadinya peningkatan nilai hemosit.

Menurut Palar (2012), masuknya merkuri kedalam tubuh organisme 90% terutama melalui makanan yang dimakannya dan sisanya masuk secara difusi melalui jaringan dan pernafasan. Senyawa metil merkuri sangat mudah larut dalam air dan berasosiasi dengan sistem rantai makanan dan akan dimakan oleh organisme perairan seiring dengan rantai makanan tersebut.

Jenis logam berat Hg tidak termasuk yang dibutuhkan dalam proses metabolisme, peranannya belum diketahui dengan jelas pada makhluk hidup. Hg merupakan bahan pencemar yang berbahaya akibat dari pembuangan sampah ke sungai secara berlebihan. Pertama, akibat dari pembuangan sisa industri yang tidak terkontrol. Kedua, berasal dari lumpur minyak yang terkadang juga mengandung logam berat dengan konsentrasi tinggi. Ketiga, berasal dari pembakaran minyak (hidrokarbon) dan batubara di daratan. Mereka melepaskan logam berat ke dalam atmosfer dimana kemudian bercampur dengan air hujan dan jatuh ke dalam air (Hutabarat dan Evans, 1986).

g. Logam Berat Cadmium (Cd)

Kerang diketahui memiliki afinitas yang tinggi terhadap logam berat Cd melalui ikatan protein metallothionin. Cadmium merupakan salah satu logam berat yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan dapat terakumulasi dalam jaringan lunak terutama ginjal dan hati (OSUSRL 2008). Cadmium (Cd) adalah logam berwarna putih keperakan menyerupai aluminium dengan berat atom 112,41 g/mol dengan titik cair 321°C dan titik didih 765°C.

Menurut Cherkasov *et al.* (2007), logam berat yang dilepas ke laut kemudian akan diserap oleh biota laut dan dapat berakibat pada penurunan respon imunnya. Penurunan respon imun menyebabkan tiram *Crassostrea* mudah menyerap polutan seperti Cd yang dapat menyebabkan kematian. Menurut Tarigan *et al.* (2003), Cd bersifat racun bagi semua organisme dan berbahaya bagi manusia. Cd pada konsentrasi tertentu dapat membunuh biota perairan.

Menurut Palar (2012), cadmium masuk ke dalam tubuh Bivalvia bersama dengan makanan yang dikonsumsi dan juga akan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup. Abdulgani *et al.* (2010), menyatakan bahwa cadmium merupakan logam berat yang mempunyai sifat

akumulasi dimana akumulasi tersebut dapat meningkat seiring dengan proses rantai makanan berlangsung. Menurut Effendi (2003), cadmium bersifat kumulatif dan sangat toksik bagi manusia karena dapat mengganggu fungsi paru-paru dan ginjal, dapat mengakibatkan kemandulan dan meningkatkan tekanan darah.