

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tiram

Tiram merupakan sekelompok kerang-kerangan dengan cangkang berkapur dan relatif pipih. Tiram masuk dalam klas bivalvia dan masih dalam family Ostreidae (Christo *et al.*, 2010). Kelompok hewan ini tidak bertulang belakang (invertebrata) dan bentuknya mudah untuk dikenali. Sebagian besar dicirikan dengan adanya cangkang yang melindungi tubuhnya. Cangkang merupakan alat pelindung diri, terdiri atas lapisan karbonat (*crystalline calcium carbonate*), dipisahkan oleh lapisan tipis (lembaran) protein di antara cangkang dan bagian tubuh (otot dan daging) (Setyono, 2006). Keragaman dalam bentuk cangkang menjadi salah satu kreteria dalam membedakan jenis-jenis tiram. Struktur cangkang yang keras pada tiram berfungsi melindungi bagian lunak dalam tubuhnya (Njimerie, 2015).

Tiram merupakan salah satu sumberdaya laut yang dapat dijumpai di Indonesia. Tiram tumbuh menempel pada substrat keras di pantai. Berbagai macam spesies dari tiram banyak di temui pada hampir semua pantai yang ada di Indonesia. Tiram dari marga *Crassostrea* mempunyai cangkang yang tidak beraturan dan berubah-ubah, menggunakan otot sebagai alat gerak, senang melekatkan dirinya secara tetap pada benda-benda yang keras yang ada di sekelilingnya (Ghufro dan Kordi, 2009). Tiram memiliki cangkang setangkup yang kasar dan tidak beraturan, menyukai perairan hangat dan terlindung serta permukaan landai dengan substrat lumpur, pasir atau kerikil dan batu (Oktaviana, 2014).

2.1.1 Klasifikasi Tiram *Crassostrea cucullata*

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

Kingdom : Animalia
Superphylum : Eutrochozoa
Phylum : Mollusca
Subphylum : Conchifera
Class : Bivalvia
Subclass : Metabranhia
Superorder : Filibranchia
Order : Pteriomorpha
Suborder : Ostreina
Superfamily : Ostreoidea
Family : Ostreidae
Genus : *Crassostrea*
Spesies : *Crassostrea cucullata*



Gambar 2. *Crassostrea cucullata* (Zipcodezoo, 2018)

2.1.2 Morfologi Tiram

Menurut Galtsoff (1964), tiram tergolong dalam Pelecypoda (kerang-kerangan) dan biasa disebut oyster. Salah satu ciri umum adalah memiliki dua buah cangkang berkapur serta mempunyai insang sebagai alat untuk bernafas dan menyerap makanan. Bentuk cangkang kerang ini dipengaruhi oleh tempat hidupnya, semakin sedikit gangguan, tiram akan berkembang dengan baik. Selain itu, tubuh dari kerang terdiri dari tiga bagian yaitu kaki, mantel dan kumpulan organ bagian dalam. Kaki bivalvia bersifat elastis, terdiri atas susunan jaringan otot yang dapat meregang. Cangkang bivalvia dibentuk oleh mantel dengan cara mengeluarkan sel-sel yang dapat membentuk struktur cangkang dengan warna yang berbeda-beda tergantung pada faktor lingkungan dan genetik. Sedangkan, mantel berfungsi untuk membungkus organ bagian dalam dan menyeleksi unsurunsur yang terhisap ke dalam tubuh

Kerang bakau atau tiram merupakan organisme yang memiliki tubuh bilateral simetris dimana terlindung oleh cangkang kapur yang keras. Bagian cangkang terdiri atas bagian dorsal dan bagian ventral (Komala, 2012). Bentuk tubuh agak bulat dengan cangkang atau katup yang tidak beraturan memanjang (Machalski, 1998). Tiram *Crassostrea sp* termasuk organisme yang hidup berkelompok. Mereka hidup dengan saling menempel satu sama lain dan juga melekat pada akar mangrove. Spesies *Crassostrea sp* memiliki maksimum ukuran sekitar 6-8 cm (Asriyanti, 2012). Pertumbuhan tiram meliputi pertumbuhan daging dan cangkang. Kecepatan pertumbuhan daging tidak selalu seiring dengan kecepatan pertumbuhan cangkang karena masing – masing dipengaruhi oleh faktor yang berbeda. Pertumbuhan daging dipengaruhi oleh ketersediaan makanan, kematangan gonad dan perubahan yang terjadi akibat pelepasan gonad. Sedangkan pertumbuhan cangkang dipengaruhi oleh kandungan kalsium dalam perairan (Priyantini *et al.*, 2016).

2.1.3 Fisiologi Tiram

Menurut Ghufron dan Kordi (2009), tiram mempunyai cara perkembangan dalam dua bentuk, yaitu perkembangan bersifat eksternal dan internal. Perkembangan secara eksternal, artinya pembuahan terjadi diluar tubuh induknya. Sedangkan perkembangan secara internal yaitu pembuahan terjadi di dalam tubuh induknya. Sedangkan menurut Insafitri (2010), bivalvia secara umum memiliki kelamin terpisah antara gamet jantan dan betina dan dilepaskan ke air kemudian dibawa oleh arus. Perkembangan gonad dibagi menjadi beberapa tahap yaitu istirahat, berkembang, matang, memijah sebagian, dan memijah. Jenis bivalvia memiliki dua tangkup yang dapat membuka dan menutup karena adanya kerja dua otot pengikat. Satu otot pengikat terletak pada bagian depan dan yang satu terletak pada bagian belakang. Apabila tangkup pecah, maka akan terlihat lapisan *periostracum*, *prismatic*, dan lapisan *nacreous*. Tiram yang termasuk jenis bivalvia memiliki sistem respirasi yang dilakukan pada insang dan mantel. Oksigen yang terkandung didalam air yang masuk melalui insang akan berdifusi kedalam hemolin. Hemolin yang mengandung oksigen dimana hemolin dihasilkan pada ginjal akan kembali ke jantung atau langsung diteruskan ke jantung oleh pembuluh vena (Fernanda, 2012).

Menurut Hilman *et al.* (2009), sistem pencernaan pada bivalvia dimulai dari mulut, kerongkongan, lambung, usus dan akhirnya bermuara pada anus. Anus ini terdapat di saluran yang sama dengan saluran untuk keluarnya air. Sedangkan makanan golongan hewan ini adalah hewan-hewan kecil yang terdapat dalam perairan berupa protozoa diatom, dll. Makanan ini dicerna di lambung dengan bantuan getah pencernaan dan hati. Sisa-sisa makanan dikeluarkan melalui anus.

Sistem saraf bivalvia pada dasarnya terdiri dari tiga pasang ganglia dan beberapa pasang saraf. Masing-masing ganglia otak berupa dua pasang tali

saraf meluas ke bagian posterior. Sedangkan satu pasang lainnya dapat mencapai kembali ke ganglion visceral yang terletak pada permukaan otot adduktor posterior. Sepasang ganglia yang ketiga memperpanjang hingga bagian posterior dan bagian perut ke ganglia pedal di kaki. Ganglia otak akan mengatur anterior otot adduktor dan bagian dari mantel, serta *statocysts* dan *osphradia*. Ganglia pedal berfungsi untuk mengontrol pergerakan kaki. Ganglia visceral mengontrol area yang lebih luas seperti insang, jantung, perikardium, ginjal, saluran pencernaan, gonad, otot adduktor posterior dan sebagian atau seluruh mantel (Gosling, 2003).

Sistem sirkulasi Bivalvia terdiri dari jantung yang terletak di bagian bawah usus dalam rongga perikardium (selaput pembungkus jantung) dan terbagi menjadi dua bagian aurikel (ventral) dan ventrikel (dorsal). Ventrikel tersusun dari aorta anterior yang berfungsi sebagai penyalur darah ke kaki, mantel dan lambung. Darah yang dibawa ke rektum akan dilakukan oleh aorta posterior. Darah yang sudah mengalami oksigenasi di dalam mantel akan kembali menuju jantung. Sedangkan darah yang bersirkulasi di beberapa bagian organ tubuh akan menuju vena yang kemudian diteruskan menuju ginjal. Setelah itu, dari ginjal darah akan dialirkan ke insang dan di dalam insang tersebut terjadi pertukaran oksigen dan karbondioksida yang dibawa oleh darah. Selanjutnya darah akan menuju jantung dan disalurkan kembali pada organ-organ yang membutuhkan. Sistem peredaran darah bivalvia termasuk dalam sistem peredaran darah terbuka. Darah masuk ke dalam ruang terbuka pada satu titik selama peredarannya. Apabila terjadi kerusakan pada jaringan maka akan terjadi peredaran darah sangat lambat yang melalui permukaan tubuh (Galtsoff, 1964).

2.1.4 Habitat dan Kebiasaan Makan

Menurut Ghufron dan Kordi (2009), tiram memiliki wilayah penyebaran sangat luas. Tiram hidup di laut subtropis dan tropis. Tiram dari marga *Crassostrea* mempunyai kebiasaan hidup yang berbeda dengan beberapa kerang lainnya. Beberapa jenis kerang lain hidup dengan membenamkan diri di pasir atau lumpur di dasar laut, tiram senang melekatkan diri secara tetap pada benda-benda keras yang ada disekelilingnya. Habitat tiram adalah daerah pasang surut, daerah sekitar estuari, daerah terumbu karang, dan hutan mangrove. Tiram dewasa melekat pada substrat yang keras dan hanya mengharapkan makanan yang terbawa oleh arus ke dalam cangkangnya yang dibantu oleh kibasan bulu getar yang terdapat pada insang sebagai pompa makanannya. Tiram mempunyai sendi yang berfungsi untuk mempermudah membuka dan menutup mulutnya baik dalam mengambil makanan maupun menghindari gangguan dari luar seperti polusi dan kekeringan. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Priyantini *et al.* (2016), ketika tiram digenangi air saat pasang, maka tiram dapat memanfaatkan makanannya setiap saat karena makanannya relatif selalu tersedia terbawa arus. Ketika surut, tiram tidak digenangi air dan menutup rapat cangkangnya. Pada fase surut tiram menutup rapat cangkangnya untuk bertahan karena tidak mendapatkan air pada siang hari dan mengurangi panas matahari.

2.2 Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai densitas lebih besar dari 5 gr/cm^3 (Nugraha, 2009). Logam berat Cd, Pb, Cu, As, Cr, Hg, dan Ni termasuk dalam senyawa kimia yang sangat beracun (toksik) (Mamoribo *et al.*, 2015). Logam berat memasuki lingkungan dengan cara alami dan melalui aktivitas manusia. Berbagai sumber logam berat termasuk erosi tanah,

pelapukan alami kerak bumi, penambangan, limbah industri, limpasan perkotaan, pembuangan limbah rumah tangga serta berbagai aktivitas manusia yang masuk ke laut akan berdampak pada lingkungan dan organisme perairan (Jaishankar, 2014).

Dalam kondisi alami, kadar logam berat dalam air laut sangat rendah, yaitu berkisar 10^{-5} – 10^{-2} ppm. Peningkatan kadar logam berat dalam air laut yang terjadi pada umumnya disebabkan oleh masuknya limbah industri, pertambangan, pertanian dan domestik yang banyak mengandung logam berat. Dari keempat jenis limbah tersebut, limbah yang umumnya paling banyak mengandung logam berat adalah limbah industri. Hal ini disebabkan senyawa logam berat sering digunakan dalam kegiatan industri, baik sebagai bahan baku, bahan tambahan maupun katalis (Hutagalung *et al.*, 1997 dalam Nugraha, 2009).

Menurut Pernamawati *et al.* (2013), masuknya limbah ini ke perairan laut dapat mengurangi kualitas perairan dan menimbulkan pencemaran. Selain mengubah kualitas perairan, logam berat yang terendapkan bersama dengan sedimen juga dapat menyebabkan transfer bahan kimia beracun dari sedimen ke organisme. Secara umum kadar logam berat diperairan dapat membahayakan kehidupan biota laut. Adanya akumulasi logam berat dalam sedimen dapat menimbulkan akumulasi pada tubuh biota yang hidup dan mencari makan di dalam air maupun di sekitar sedimen atau dasar perairan, dan akan mencemari kehidupan biota laut, yang pada gilirannya akan berbahaya bagi manusia yang mengkonsumsinya.

2.2.1 Timbal (Pb)

Logam-logam yang mencemari perairan laut banyak jenisnya, diantaranya yang cukup banyak adalah Pb. Timbal (Pb) merupakan mineral yang tergolong mikroelemen dan berpotensi menjadi bahan toksik. Jika terakumulasi

dalam tubuh, maka berpotensi menjadi bahan toksik pada makhluk hidup. Masuknya unsur Pb ke dalam tubuh makhluk hidup dapat melalui saluran pencernaan (*gastrointestinal*), saluran pernafasan (*inhalasi*) dan penetrasi melalui kulit (Usman *et al.*, 2013). Menurut Yulaipi dan Aunurohim (2013), adanya timbal (Pb) yang masuk ke dalam ekosistem dapat menjadi sumber pencemar dan dapat mempengaruhi biota perairan seperti mematikan ikan terutama pada fase juvenil karena toksisitasnya tinggi. Timbal (Pb) yang masuk ke dalam perairan dapat berasal dari limbah buangan industri kimia, industri percetakan, industri yang menghasilkan logam dan cat.

Menurut Lyusta *et al.* (2017), logam berat Pb yang bersumber dari aktivitas transportasi yang berasal dari aktivitas kapal. Bahan bakar dari kapal - kapal nelayan serta cat-cat kapal yang melintas juga ikut berperan dalam pencemaran logam Pb. Pada umumnya bahan bakar minyak mendapat zat tambahan tetraethyl yang mengandung Pb untuk meningkatkan mutu dari bahan bakar tersebut. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Widyaningrum *et al.* (2007), logam berat Pb yang mencemari lingkungan utamanya berasal dari penggunaan bahan bakar, bahan bakar seperti bensin memiliki kadar Pb yang tinggi. Namun dalam proses pembakaran, timbal dilepas kembali bersama-sama sisa pembakaran lainnya keudara sehingga nantinya akan mencemari lingkungan. Pencemaran Pb pada lingkungan perairan berasal dari hasil pembakaran bahan bakar pada kapal perikanan.

2.2.2 Kadmium (Cd)

Pencemaran perairan ditandai dengan adanya perubahan sifat fisik, kimia dan biologi perairan. Bahan pencemar berupa logam berat di perairan akan membahayakan kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Salah satu jenis logam berat yang memasuki

perairan dan bersifat toksik adalah kadmium (Cd). Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang sangat berbahaya karena tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh organisme hidup dan dapat terakumulasi ke lingkungan, terutama mengendap di dasar perairan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik (Akbar *et al.*, 2014). Sedangkan menurut Atdjas (2008) dalam Mamoribo *et al.* (2015), kadmium (Cd) merupakan bahan pencemaran organik/mineral yang dapat terakumulasi dalam perairan maupun dalam makanan. Secara umum masuk ke dalam perairan akan menjadi Cd^{+2} yang menyebabkan toksisitas perairan. Cd^{+2} yang bersifat racun apabila masuk ke dalam tubuh.

Logam berat kadmium merupakan jenis logam berat yang paling banyak di temui di perairan dan memiliki efek toksik yang tinggi walaupun pada konsentrasi yang rendah, di dalam tubuh manusia kadmium bersifat karsiogenik yang dapat merusak kelenjar endoktrin (Rumahlatu *et al.*, 2012). Logam berat kadmium terbukti mampu menghambat penyerapan unsur esensial yang sangat diperlukan oleh makhluk hidup lain serta kadmium mengganggu ekspansi sel yang akhirnya menghambat pertumbuhan (Rosidah *et al.*, 2014).

2.2.3 Merkuri (Hg)

Secara alamiah logam berat dapat masuk ke perairan melalui berbagai cara. Hg dapat masuk ke badan perairan umumnya berasal dari kegiatan-kegiatan gunung api, rembesan-rembesan air tanah yang melewati daerah deposit merkuri dan lain-lainnya (Nugraha, 2009). Merkuri atau juga disebut air raksa merupakan salah satu logam berat yang menjadi bahan pencemaran. Masuknya merkuri dalam jumlah yang tinggi ke dalam lingkungan perairan dapat menyebabkan efek yang buruk bagi organisme yang hidup pada perairan (Selayar *et al.*, 2015).

Merkuri yang masuk ke dalam perairan dapat masuk dan terakumulasi pada ikan-ikan dan makhluk air lainnya, termasuk ganggang dan tumbuhan air. Mekanisme masuknya merkuri ke dalam tubuh hewan air adalah melalui penyerapan pada permukaan kulit, melalui insang dan rantai makanan, sedangkan pengeluaran dari tubuh organisme perairan bisa melalui permukaan tubuh atau insang atau melalui isi perut dan urine. Merkuri dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui tiga cara yaitu pernafasan, permukaan kulit dan paling banyak melalui makanan (Fardiaz, 1992).

Bioakumulasi Hg pada organisme merupakan proses yang rumit. Secara umum, ada empat cara bahan tertentu (termasuk logam-logam) dapat terakumulasi ke dalam jaringan tubuh organisme, yaitu melalui aliran air pada insang, proses makan dan minum, serta kulit. Akumulasi logam diawali dengan proses pengambilan (*uptake*) melalui insang dan kemudian terserap ke dalam seluruh jaringan tubuh dan tersimpan/tersekap di dalam. Merkuri yang terakumulasi ke dalam jaringan tubuh organisme, khususnya di dalam otot (daging), memberikan konsekuensi keracunan pada manusia yang mengkonsumsi daging ikan sebagai sumber protein (Lasut, 2009).

2.2.4 Mekanisme Penyerapan Logam di Tiram

Organisme perairan dapat terpengaruh oleh logam berat di lingkungan. Secara umum logam dapat masuk ke dalam sistem organisme perairan melalui tiga jalur utama. Pertama, ion logam bebas yang teradsorpsi melalui permukaan pernapasan yang mudah menyebar ke dalam aliran darah. Kedua, ion logam bebas yang teradsorpsi ke permukaan tubuh secara pasif menyebar ke dalam aliran darah. Ketiga, logam yang teradsorpsi ke makanan dan partikulat yang tertelan, serta ion bebas yang dicerna dengan air (Hassaan *et al.* 2016).

Menurut Emersida *et al.* (2014), logam berat tersebut berpindah ke tubuh Tiram (*Crassostrea sp*) melalui proses akumulasi dan biomagnifikasi dari sisa pakan yang jatuh ke perairan, Tiram (*Crassostrea sp*) mendapatkan makanan (biasanya partikel-partikel kecil) dengan menyaringnya dari air atau disebut *filter feeder*. Kemampuan tiram sebagai organisme *filter feeder* menyebabkan tiram dapat terpapar kandungan logam yang cukup tinggi pada tubuhnya, karena terjadi proses akumulasi (Peer *et al.*, 2010). Akumulasi logam berat yang semakin meningkat pada tiram akan menyebabkan tiram mengalami gangguan dalam melakukan filtrasi makanan, sehingga tiram akan mengalami penurunan dalam pertumbuhan dan bahkan dimungkinkan mengalami kematian (Suryono, 2006)

2.3 Metallothionein (MT)

Methallothionein (MT) adalah protein non-enzimatik yang mempunyai kandungan sistein tinggi, tidak mempunyai asam amino aromatik dan tidak stabil oleh panas. Gugus tiol dari kelompok ini (-SH) merupakan residu sistein yang memungkinkan MT mengikat logam berat (Hertika *et al.*, 2016). Metallothionein memiliki kespesifikan terhadap logam, dan MT hanya mengikat satu jenis logam, seperti MT pengikat Cd, MT pengikat Hg, dan MT pengikat Pb (Astutik dan Zulaika, 2015). Metallothionein sudah banyak digunakan sebagai biomarker tertentu karena potensi metallothionein mencerminkan keberadaan dari logam berat. Induksi dari metallothionein meningkat setelah paparan logam berat dalam organisme (Wu dan Chen, 2005). MT diketahui memiliki dua fungsi utama yaitu detoksifikasi logam berat dan *scavenger* radikal bebas. Hal ini mengindikasikan bahwa MT sebagai protein terlibat dalam metabolisme logam berat yang penting dalam menjalankan fungsi sel suatu organisme. Karena itu, MT bukan hanya mengikat jumlah logam di dalam sebuah sel, tapi juga mengembalikan

kemampuan fungsi protein yang tidak aktif akibat logam kadmium (Rumahlatu, 2012).

Metallothionein merupakan biomarker yang bersifat universal. Metallothionein 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. Metallothionein 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).

2.4 Mekanisme Pengikatan Logam Berat oleh Metallothionein

Metallothionein merupakan protein dalam molekul rendah dengan memiliki sistein logam yang tinggi serta berperan dalam mengikat ion logam (Couillard *et al.*, 1993). Logam berat dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh organisme terutama pada insang, lambung, hati dan ginjal, daging atau otot serta tulang. Metallothionein bersifat spesifik, metallothionein pengikat Cd, berbeda dengan metallothionein pengikat Hg, berbeda pula dengan metallothionein pengikat Pb, ataupun logam berat yang lain. Metallothionein selain bersifat spesifik, juga bersifat sensitif sebagai biomarker. Metallothionein yang terbentuk berfungsi sebagai detoksifikasi terhadap logam berat. Dengan kata lain apabila terjadi paparan logam berat yang memiliki afinitas tinggi terhadap thioenin maka logam tersebut memiliki kemampuan yang tinggi dalam menginduksi metallothionein, sehingga akan segera membentuk metallothionein dan logam

tersebut akan segera terdetoksifikasi. Akibatnya tidak terjadi akumulasi logam pada tubuh yang berpotensi melebihi ambang batas. (Dewi *et al.*, 2014).

Menurut Prabowo (2005), setelah Cd terserap tubuh maka akan diikat oleh protein berat molekul rendah yang disebut *thionein* membentuk kompleks protein protein metallothionein yang disintesis dalam hati. Metallothionein ini dipindahkan ke ginjal melalui peredaran darah. Pengikatan logam berat dalam metallothionein tersebut dipercaya sebagai mekanisme untuk pertahanan dan perlindungan yang mencegah logam tersebut mempengaruhi protein protein penting dalam proses metabolisme tubuh. Logam berat yang terdapat di dalam perairan dapat masuk ke dalam tubuh ikan, dan lamanya perjalanan masuknya logam berat tersebut ke dalam tubuh ikan sangat bervariasi. Masuknya logam berat tersebut dapat melewati mulut dan alat pencernaan makanan, permukaan insang atau melintas integumen. Oleh karena itu organisme yang hidup dalam perairan yang tingkat cemaran logam beratnya lebih tinggi maka jaringan tubuhnya akan mengandung kadar logam berat yang lebih tinggi pula.

2.5 Pengamatan Metallothionein Dengan Metode ELISA

ELISA (*Enzyme-linked immunosorbent assay*) atau nama lainnya *Enzyme Immunoassay* (EIA) merupakan teknik biokimia yang banyak digunakan di bidang imunologi untuk mendeteksi adanya antibody atau antigen pada suatu sampel. Teknik uji ini digunakan untuk menganalisis adanya interaksi antigen dengan antibody di dalam suatu sampel dengan menggunakan enzim sebagai reporter label. Terdapat beberapa jenis teknik ELISA, yaitu *direct* ELISA, *indirect* ELISA, ELISA Sandwich (Gan dan Patel, 2013). *Indirect* ELISA merupakan jenis ELISA yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi suatu antigen dan antibody. Teknik tersebut memiliki karakteristik yaitu antigen tidak menempel langsung pada antibody detektor (*indirect*). Antigen akan berikatan dengan

antibodi lain terlebih dahulu. Antibodi tersebut kemudian akan berikatan dengan antibodi yang telah dilabeli (Nugroho dan Rahayu, 2016).

ELISA (*Enzyme-linked Immunosorbent Assay*) merupakan salah satu teknik serologi yang dapat digunakan untuk mendeteksi patogen secara efektif dan efisien. Teknik ELISA dan perangkat deteksinya menggunakan antibodi poliklonal (AbPo) maupun AbMo telah dikembangkan secara komersial untuk deteksi virus dan bakteri patogen. Teknik ELISA dengan menggunakan AbMo diperoleh dari hasil penelitian yang sangat khusus, teknik ini disukai karena secara umum lebih sensitif, spesifik, efisien, dan efektif untuk menguji sampel dalam jumlah besar lebih murah, serta cukup mudah pengerjaannya (Madaeli dan Nurhidayah, 2011).

2.6 Kondisi Fisika dan Kimia Air

2.6.1 Suhu

Suhu merupakan faktor parameter fisika yang sangat penting dalam lingkungan laut. Menurut Effendi (2003), suhu suatu badan air di pengaruhi oleh musim, lintang (*latitude*), ketinggian dari permukaan laut (*altitude*), waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman air. Setiap organisme perairan mempunyai batas toleransi yang berbeda terhadap perbedaan suhu perairan bagi kehidupan dan pertumbuhan organisme perairan. Oleh karena itu suhu merupakan salah satu faktor fisika perairan yang sangat penting bagi kehidupan organisme atau biota perairan (Desriyan, 2015).

Menurut Ghufran dan Kordi (2008), suhu air laut menentukan proses kehidupan dan penyebaran organisme laut. Semua organisme laut kecuali burung dan mamalia laut, bersifat *polikilotermik* atau *ektotermik* artinya suhu tubuhnya dipengaruhi oleh suatu massa air disekitarnya. Karena sebagian besar organisme laut bersifat *polikilotermik* dan suhu air bervariasi menurut garis

lintang, maka penyebaran organisme laut sangat mengikuti perbedaan suhu laut secara geografik. Suhu air permukaan di perairan Nusantara umumnya berkisar antara 28-31 derajat celsius. Suhu air permukaan bisa turun samapi sekitar 25 derajat celsius karena terjadi proses *upwelling* (pergerakan massa air). Suhu air didekat pantai biasanya sedikit lebih tinggi daripada dilepas pantai.

2.6.2 pH

Keasaman air atau yang lebih dikenal sebagai pH (*paissancee negatif de H*) sangat berpengaruh bagi kehidupan organisme. Keasaman dihitung berdasarkan prosentase logaritma negatif dari ion-ion hidrogen per liter air (Susanto, 2000). Variasi nilai derajat keasaman (pH) air laut dapat dijadikan sebagai salah satu identifikasi kualitas air laut. pH yang ideal bagi biota laut nilainya berkisar antara 6,5-8,5 (Souhoka dan Patty, 2013). pH sangat penting sebagai parameter kualitas air karena dapat mengontrol tipe dan laju kecepatan reaksi beberapa bahan dalam air. Fungsi pH sendiri menjadi faktor pembatas kenas masing-masing organisme memiliki toleransi kadar maksimal dan minimum nilai pH (Desriyan, 2015).

Kelarutan logam dalam air dikontrol oleh pH air. pH yang rendah dapat memengaruhi kelarutan logam berat di perairan. Kenaikan pH menurunkan kelarutan logam dalam air, karena kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air, sehingga akan mengendapkan membentuk lumpur. Sedangkan pH yang rendah dapat menyebabkan kelarutan logam-logam dalam air semakin besar (Rachmaningrum, 2015).

2.6.3 Oksigen Terlarut (DO / *Dissolved Oxygen*)

Oksigen terlarut atau sering juga disebut dengan kebutuhan oksigen (*oxygen demand*) merupakan salah satu parameter penting dalam analisis kualitas air. Nilai DO yang biasanya diukur dalam bentuk konsentrasi ini menunjukkan jumlah oksigen (O_2) yang tersedia dalam suatu badan air. Semakin besar nilai DO pada air, mengindikasikan air tersebut memiliki kualitas yang baik. Sebaliknya nilai DO rendah, dapat diketahui bahwa air tersebut telah tercemar. Pengukuran DO juga bertujuan melihat sejauh mana badan air mampu menampung biota air seperti ikan dan mikroorganisme (Desriyan, 2015). Oksigen terlarut memiliki pengaruh terhadap kelarutan logam perairan. Kandungan oksigen terlarut yang rendah akan menyebabkan daya larut logam lebih rendah dan mudah mengendap (Rachmaningrum, 2015).

Menurut Patty (2013), rendahnya kadar oksigen di daerah pantai dekat muara sungai (estuari), erat kaitannya dengan kekeruhan air laut dan juga diduga disebabkan semakin bertambahnya aktivitas mikro-organisme untuk menguraikan zat organik menjadi zat anorganik yang menggunakan oksigen terlarut (bioproses) di perairan ini. Sedangkan tingginya kadar oksigen terlarut di perairan lepas pantai, dikarenakan airnya jernih sehingga dengan lancarnya oksigen yang masuk kedalam air tanpa hambatan melalui proses difusi dan proses fotosintesi.

2.6.4 Salinitas

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air. Salinitas merupakan bagian dari sifat fisik dan kimia suatu perairan, selain suhu, pH, substrat dan lain-lain. Salinitas menggambarkan padatan total di dalam air. Salinitas perairan menggambarkan kandungan garam dalam suatu perairan. Garam yang dimaksud adalah berbagai ion yang terlarut dalam air termasuk garam dapur

(NaCl). Pada umumnya salinitas disebabkan oleh tujuh ion utama yaitu natrium (Na), klorida (Cl), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), sulfat (SO₄) dan bikarbonat (HCO₃) (Armis *et al.*, 2017). Salinitas laut dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti sirkulasi air, penguapan, curah hujan dan aliran air sungai (As-Syakur dan Wiyanto 2016).

Nilai salinitas perairan tawar biasanya kurang dari 0,5 ‰, perairan payau anatar 0,5‰ – 30‰, dan perairan laut 30‰ – 40‰. Pada perairan *hipersaline*, nilai salinitas dapat mencapai kisaran 40‰ – 80‰. Pada perairan pesisir, nilai salinitas sangat dipengaruhi oleh masukan air tawar dari sungai (Effendi 2003). Pada umumnya nilai salinitas wilayah laut Indonesia berkisar antara 28 – 33 ‰. Nilai salinitas air laut dapat disebabkan terjadinya pengacauan (*mixing*) akibat gelombang laut ataupun gerakan massa air yang ditimbulkan oleh tiupan angin (Nontji (2002) *dalam* Patty (2013). Daerah pesisir salinitas berkisar antara 32-34 ‰, pada laut terbuka salinitas berkisar 33-37 ‰ dengan rata-rata 35 ‰ (Haris *et al.*, 2011).