

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Madura merupakan pulau yang mempunyai luasan hutan mangrove yang berbeda pada setiap kabupaten. Berdasarkan Dinas Pengelola Data Elektronik Propinsi Jawa Timur (2001) data yang diperoleh dari Dinas Pengelola Data Elektronik Propinsi Jawa Timur, kawasan mangrove di Kabupaten Sampang adalah 999,6 Ha, di Kabupaten Pamekasan seluas 1.408,75 Ha, dan luas mangrove di Kabupaten Pamekasan ± sekitar 473,040 Ha, sedangkan Pantai talang siring sendiri mempunyai luas hutan mangrove ± 25,04 ha. Pantai Talang Siring ini terletak di Desa Montok, Kecamatan Larangan, Kabupaten Pamekasan. Berjarak sekitar 14 Km arah timur dari kota. Pantai ini mempunyai kawasan hutan mangrove yang terletak di sepanjang jalan menuju Desa Candi yang tumbuh di sisi Barat Pantai Talang. Di sekitar pantai juga terdapat tambak-tambak garam milik masyarakat sekitar yang sebagian dari tambak tersebut juga di tanami mangrove.

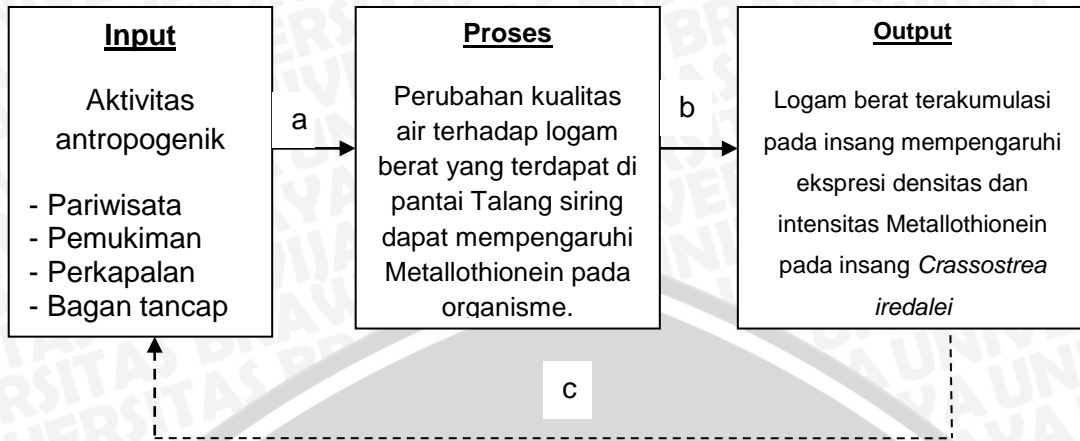
Tiram termasuk spesies makrofauna benthik yang merupakan salah satu bioindikator terbaik untuk mengetahui tingkat kontaminasi logam berat di suatu daerah. Tiram merupakan biota yang potensial terkontaminasi logam berat, karena sifatnya yang *filter feeder*, sehingga biota ini sering digunakan sebagai hewan uji dalam pemantauan tingkat akumulasi logam berat pada organisme laut jenis bivalvia (Wulandari, *et al.*, 2012). Jenis tiram yang ada diperairan pada umumnya terdapat 2 kategori yaitu tiram yang hidup pada kawasan mangrove dan tiram yang hidup dikawasan pantai. Pada kedua habitat tersebut tiram selalu menempel pada substrat yang keras seperti akar dan batang pohon, kayu

maupun batu. Jenis tiram *Crassostrea iredalei* yang merupakan salah satu jenis tiram yang hidup pada habitat mangrove.

Tiram dapat mengakumulasi keberadaan logam berat dari konsentrasi yang hadir dalam air laut. Keberadaan tiram telah banyak digunakan sebagai indikator pencemaran logam dalam ekosistem laut. Metallothionein merupakan golongan protein yang sering dikaitkan dengan logam berat. Sampai saat ini, metallothionein merupakan satu-satunya biomarker spesifik terhadap logam (Dewi *et al*, 2012). Metallothionein dapat ditemukan pada sel hewan, tumbuhan tinggi, mikroorganisme eukariotik dan prokariotik. Meskipun demikian, metallothionein lebih sering dijumpai di organ yang banyak terpapar oleh aktivitas senyawa logam seperti hati, ginjal, pembuluh darah, saluran pencernaan, dan saluran pernafasan. Secara langsung, metallothionein berperan penting pada mekanisme detoksifikasi, fasilitasi distribusi, dan ekskresi berbagai senyawa logam (Almatsier 2001 dan Soemirat 2009). Pada Pantai Talang Siring, Pamekasan, Madura yang memiliki karakteristik sumberdaya perikanan terdapat berbagai macam bahan pencemar logam berat yang sangat tinggi dan bahkan melampaui batas toleransi yang dihasilkan dari berbagai macam aktifitas manusia seperti penangkapan, tempat wisata bahkan perkapalan. Adanya karakteristik dari pantai tersebut diduga didominasi oleh tiram *Crassostrea iredalei* yang keberadaannya memiliki tingkat pencemaran yang tinggi, sehingga dari keberadaan tingkat pencemaran tersebut diduga akan mempengaruhi pula terhadap kadar metallothionein yang ada didalam tubuh organisme seperti tiram.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini secara ringkas digambarkan dalam bagan berikut:



**Gambar 1. Alur Perumusan Masalah**

Keterangan:

- a. Aktivitas antropogenik di sekitar perairan Pantai Talang Siring seperti tempat wisata, pemukiman, perkapalan, dan aktivitas perikanan seperti bagan tancap akan mengasikkan limbah yang jika dibuang ke perairan dapat mempengaruhi kualitas air serta mempengaruhi konsentrasi logam essential dan non essential di perairan Talang Siring.
- b. Perubahan kualitas air akan mempengaruhi kandungan metallothionein (MT) pada tubuh organisme sebagai protein pengikat logam berat. Perairan yang mengandung logam berat di duga akan mempengaruhi densitas dan intensitas pada *Crassostrea iredalei* yang metallothionein ekspresinya diteliti pada insang yang berfungsi sebagai alat pernapasan utama serta dapat dijadikan sebagai biomarker melalui tehnik Imunohistokimia.
- c. Logam berat yang terakumulasi pada lambung tiram *Crasostrea cuculata* mempengaruhi densitas dan intensitas metallothionein (MT) pada tubuh organisme sebagai protein pengikat logam berat. Perairan yang mengandung logam berat diduga akan mempengaruhi densitas dan intensitas metallothionein pada *Crasostrea iredalei* dan dapat dijadikan sebagai biomarker melalui tehnik Imunohistokimia.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara Densitas Metallothionein pada insang tiram *Crassostrea Iredalei* dengan kadar Pb, Hg, Cd dan ukuran tiram, dan juga untuk mengetahui hubungan antara Intensitas Metallothionein pada insang tiram *Crassostrea Iredalei* di perairan pantai Talang Siring, Kabupaten Pamekasan, Jawa Timur.

### 1.4 Kegunaan

Kegunaan dari penelitian ini adalah memberikan informasi terkait hubungan antara metallothionein pada insang tiram *Crassostrea iredalei* dengan logam berat Pb, Cd, Hg di perairan Pantai Talang Siring yang nantinya dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk pengelolaan dan pemanfaatan perairan pantai Talang Siring, serta dapat mengendalikan aktivitas manusia di sekitar pantai Talang Siring, Pamekasan dan juga sebagai bahan rujukan bagi ilmu pengetahuan dan teknologi pada bidang teknik biomarker lingkungan dengan mengetahui kadar metallothionein pada insang tiram.

### 1.5 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2014 – Januari 2015 di perairan Pantai Talang Siring, Pamekasan. Sedangkan analisis kandungan metallothionein dilakukan di Laboratorium Fisiologi Fakultas Kedokteran dan analisis kualitas air dilakukan di Laboratorium Ilmi-Ilmu Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tiram

#### 2.1.1 Biologi Tiram

Menurut Musthaphia (2001), tiram termasuk ke dalam komoditas sumberdaya hayati non ikan yang merupakan kelas bivalvia. Tiram termasuk kedalam jenis kerang laut yang hidup dengan cara menempelkan cangkang pada permukaan substrat yang keras dengan menggunakan semen. Tiram dapat hidup dari perairan dingin sampai perairan panas.

Jenis kerang-kerangan termasuk pada jenis tiram *Crassostrea iredalei* merupakan bioindikator pencemaran yang efisien untuk menduga pencemaran logam berat, karena merupakan *filter feeder* dan mempunyai toleransi yang besar terhadap tekanan ekologis yang tinggi. Tiram (Moluska, kelas Bivalvia) yang dapat bertahan hidup dan berkembang biak pada kondisi tekanan ekologis yang tinggi. Kemampuan dalam mengakumulasi logam berat pada tiram dapat digunakan untuk memperoleh gambaran tingkat pencemaran logam berat pada lingkungan dimana tiram hidup (Apriadi, 2005).

#### 2.1.2 Anatomi Tiram

Menurut Galtsoff (1964), tiram tergolong dalam Pelecypoda (kerang-kerangan) dan biasa disebut *Oyster*. Ciri umum tiram adalah memiliki 2 buah cangkang serta mempunyai insang yang relatif besar sebagai alat untuk bernafas dan menyerap makanan. Bentuk cangkang tiram, khususnya pada genus *Crassostrea* dipengaruhi oleh tempat hidupnya. 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).

Tiram *Crassostrea Iredalei* merupakan kelompok bivalvia yaitu hewan tidak bertulang belakang (invertebrata) bercangkang 2. 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) yang disebut mantel (Setyono, 2006).

Secara umum bagian tubuh tiram dibagi menjadi lima, yaitu (1) kaki (*foot*, *byssus*), (2) kepala (*head*), (3) bagian alat pencernaan dan reproduksi (*visceral mass*), (4) selaput (*mantle*), dan (5) cangkang (*shell*). Pada bagian kepala terdapat organ-organ syaraf sensori dan mulut. Bagian kaki merupakan otot yang mudah berkontraksi, dan bagian ini merupakan bagian utama alat gerak. Warna dan bentuk cangkang sangat bervariasi, tergantung pada jenis, habitat dan makanannya. Pada bagian dalam cangkang beberapa jenis tiram dan siput terdapat lapisan mutiara yang mengkilap/ berkilau, misalnya pada oyster, abalone, dan kimah (Setyono, 2006).

### 2.1.3 Klasifikasi *Crassostrea iredalei*

Bentuk cangkang tiram dipengaruhi oleh tempat hidupnya, tiram yang hidup diperairan dengan arus agak kuat bentuknya lebih membulat (radial) dan menyerupai telinga. Tiram tidak berhenti tumbuh hingga dapat mencapai ukuran yang sangat besar (Galtsoff, 1964). Tetapi bentuk ini akan tidak beraturan jika tiram hidup dalam gerombolan yang besar atau hidup menempel mengikuti substrat yang ditempeli (Wulandari, 2010). Tiram *Crassostrea iredalei* merupakan jenis tiram yang hidup dalam gerombolan atau bertumpuk. Jenis tiram *Crassostrea iredalei* dapat pada Gambar 1.



**Gambar 2. *Crassostrea iredalei* (Google Image, 2014)**

Menurut Idris (2006), *Crassostrea iredalei* memiliki bentuk yang tidak simetri pada kedua cangkangnya. Cangkang atas biasanya mempunyai bentuk yang lebih kecil, rata, tipis dan bersisik pada bagian luarnya sedangkan cangkang bawah mempunyai bentuk yang melengkung, tebal dan tidak bersisik.

Klasifikasi *Crassostrea iredalei* menurut Zipcodezoo.com (2013) adalah sebagai berikut :

Domain	: Eukaryota - Whittaker & Margulis, 1978 – eukaryotes
Kingdom	: Animalia - C. Linnaeus, 1758 – animals
Subkingdom	: Bilateria - (Hatschek, 1888) Cavalier-Smith, 1983
Branch	: Protostomia - Grobber, 1908
Superphylum	: Eutrochozoa
Phylum	: Mollusca - (C. Linnaeus, 1758) Cuvier, 1795 – Molluscs
Class	: Bivalvia - C. Linnaeus, 1758 – Bivalves
Subclass	: Metabranhia
Superorder	: Filibranchia
Order	: Pteriomorpha
Suborder	: Ostreina
Superfamily	: Ostreoidea
Family	: Ostreidae - Rafinesque, 1815 - True Oysters

Subfamily : Ostreinae  
Genus : Crassostrea - Sacco, 1897  
Specific name : iredalei  
Scientific name : *Crassostrea iredalei*

#### 2.1.4 Kebiasaan Makan

Menurut Suryono (2006), *Crassostrea iredalei* mendapatkan makanan dengan cara menyaring partikel dari perairan termasuk didalamnya mikroalga. Makanan tiram yang berupa mikroalga tersebut masuk ke dalam rongga mulut setelah memalui penyaringan dengan silia yang terdapat pada *labial palp* sehingga air yang mengandung makanan terbawa masuk kedalam rongga mantel. Kelangsungan hidup dan pertumbuhan tiram sangat dipengaruhi oleh kelimpahan pakan yang ada. Kondisi perairan pesisir yang tercemar, dengan banyaknya buangan limbah dari aliran sungai yang masuk ke dalam perairan mengandung logam berat seperti Pb, Cu, dan Hg serta logam berat lainnya. Kondisi ini berpengaruh bagi mikroalga dan tiram itu sendiri, karena tiram merupakan bioakumulasi bagi logam berat. Sehingga kandungan logam berat tersebut semakin meningkat dalam tubuh tiram. Tentunya dengan semakin meningkatnya kandungan logam berat dalam tubuh baik yang masuk melalui rantai makanan (*food chain*) atau secara kontak langsung dengan jaringan akan menyebabkan tiram terganggu dalam melakukan filtrasi makanan, maka tiram akan mengalami penurunan dalam pertumbuhan bahkan mengalami kematian.

Menurut Nontji (2002), tiram dalam hidupnya menetap pada substrat sehingga untuk mendapatkan makanannya, tiram menggunakan insang yang dilengkapi dengan silia dimana alat ini berfungsi untuk menarik bahan terlarut dalam air bersamaan dengan masuknya air ke dalam mulutnya. Parenrengi *et al.*, (1998) menambahkan bahwa makanan tiram berasal dari semua bahan yang



tersuspensi di dalam air sehingga sumber makanannya tidak hanya dari jenis fitoplankton tetapi juga dari jenis bakteri, jamur dan zat organik.

### 2.1.5 Mekanisme Penyerapan Makanan pada Tiram

Menurut Barret (1963), ketika tiram makan, helaian lendir dikeluarkan pada permukaan insang sehingga partikel-partikel mikroskopis makanan yang terbawa air akan terjerat oleh lendir dan setelah itu “ditangkap” oleh tiram. Air kemudian melewati pori-pori di insang (*ostium*) ke ruang *excurrent*. Makanan yang mengandung lendir didorong ke arah yang berlawanan dari mulut menggunakan silia.

Tiram bersifat *filter feeder non selective* sehingga kandungan logam berat yang relatif cukup tinggi dapat ditemukan dalam tubuhnya karena terjadinya proses akumulasi. Akumulasi logam berat timbal (Pb) sering terjadi pada kerang mentah dan dapat menyebabkan keracunan bagi masyarakat yang mengkonsumsinya karena toksisitasnya yang tinggi (Peer *et al.*, 2010).

### 2.2 Metallothionein

Metallothionein merupakan protein yang sangat peka dan akurat sebagai indikator pencemaran. Hal ini didasarkan pada suatu fenomena alam dimana logam-logam dapat tersekap didalam jaringan tubuh organisme yang dimungkinkan karena adanya protein tersebut. Dengan demikian, metallothionein merupakan protein pengikat logam (*metal-binding protein*) yang berfungsi dan berperan dalam proses pengikatan/penyekapan logam didalam jaringan setiap makhluk hidup (Noel-Lambot *et al.*, 1978; Langston & Zhou 1986; Bebianno *et al.* 1993).

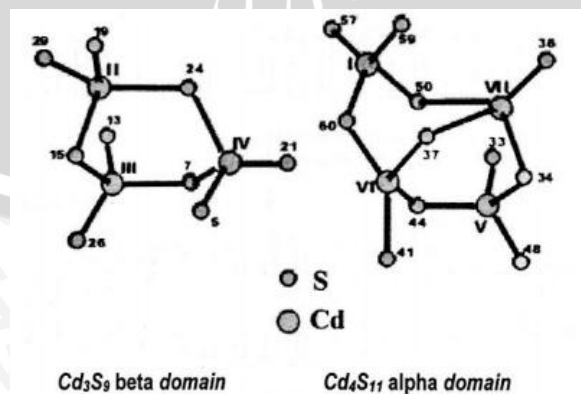
Penelitian yang dilakukan Geffard *et al.*, (2002) menunjukkan bahwa induksi metallothionein yang terpapar oleh logam berpengaruh pada 96 jam

dimana akan mengalami pengenceran dan akan sangat berkolerasi dengan peningkatan kandungan logam dalam fraksi sitosol. Hasil penelitian menunjukkan pada larva *Mytilus galloprovincialis* bahwa MT merupakan indicator yang lebih sensitif dari pencemaran logam.

### 2.3 Pengikatan Logam Berat oleh Metallothionein

Metallothionein (MT) ditemukan oleh Margoshes dan Vallee pada tahun 1957. Metallothionein merupakan protein stres yang terdapat dalam berbagai spesies hewan dan tumbuhan. Protein ini mempunyai berat molekul yang rendah dan hanya memiliki sedikit asam amino aromatik. Namun, metallothionein memiliki banyak residu sistein dalam bentuk tereduksi, sebesar 26 — 33 %, yang mempunyai kemampuan tinggi dalam mengikat ion logam. Metallothionein menunjukkan peranan dalam detoksifikasi logam berat ( $Hg^{2+}$ ,  $Cd^{+2}$ ), metabolisme ion  $Zn^{+2}$  dan  $Cu^{+2}$ , detoksifikasi oksigen reaktif, dan metabolisme metallodrugs dan *alkylating agents*.

Pada manusia dan mamalia, Metallothionein mengikat 7 ion  $Zn^{+2}$  atau  $Cd^{+2}$  s melalui 20 residu sistein, yang terdistribusi dalam 2 klaster bebas dan sangat dinamik,  $Cd_4(Stb)_{11}$  dan  $Cd_3(Stb)_9$ , terletak pada domain alpha- and beta- protein (Nugroho, 2004).



Gambar 3. Metallothionein yang mengikat Cd (Nugroho, 2004).

## 2.4 Ekspresi Metallothionein dengan Metode Imunohistokimia

Imunohistokimia merupakan proses untuk mendeteksi antigen (protein, karbohidrat, dsb) pada sel dari jaringan dengan prinsip reaksi antibody yang berikatan terhadap antigen pada jaringan. Nama imunohistokimia diambil dari nama "immune" yang menunjukkan bahwa prinsip dasar dalam proses ini ialah penggunaan antibody dan "histo" menunjukkan jaringan secara mikroskopis. Imunohistokimia seringkali digunakan untuk mengukur dan mengidentifikasi karakteristik dari kejadian seluler seperti proses proliferasi sel dan apoptosis sel. Imunohistokimia juga sering digunakan untuk penelitian dasar dalam rangka mengetahui distribusi dan lokasi biomarker ataupun protein yang terekspresi pada berbagai macam jaringan pada tubuh (Ramos-Vara, 2005). Untuk memvisualisasikan hasil interaksi antara antigen dan antibody dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, dimana cara yang paling sering digunakan ialah dengan konjugasi antibody dengan enzim seperti peroksidase. Selain itu juga bias digunakan fluorophore seperti fluorescein atau rhodamin. Untuk mempelajari morfologi sel, sel dalam jaringan difiksasi kemudian dilokalisasi diantara sel dan divisualisasikan dengan mikroskop cahaya (Rantam, 2003).

Teknik imunohistokimia dapat digunakan untuk mempelajari distribusi enzim yang spesifik pada struktur sel intak (normal/lengkap), mendeteksi komponen sel, biomakromolekul seperti protein, karbohidrat. Dengan demikian, maka sangat penting sekali untuk memahami teknik imunohistokimia guna penelitian yang berkaitan dengan pengukuran ekspresi protein, karbohidrat maupun antigen lain di permukaan maupun di dalam sel (Lehr *et al.*, 1999).

## 2.5 Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa lebih besar dari 5 gr/cm<sup>3</sup>, antara lain Cd, Hg, Pb, Zn dan Ni. Logam berat Cd, Hg, dan Pb dinamakan sebagai logam non esensial dan pada tingkat tertentu menjadi logam beracun bagi makhluk hidup (Subowo *et al.*, 1999). Logam berat terletak disudut kanan bawah pada sistem unsur periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92, dari periode 4 sampai 7 (Miettinen, 1997 *dalam* Ernawati, 2010). Logam berat merupakan komponen alami tanah. Elemen ini tidak dapat didegradasi maupun dihancurkan. Logam berat dapat masuk kedalam tubuh manusia melalui makanan, air minum, atau udara. Logam berat seperti tembaga, selenium atau seng dibutuhkan tubuh manusia untuk membantu kinerja tubuh. Akan tetapi, dapat berpotensi menjadi racun jika konsentrasi dalam tubuh berlebih. Logam berat menjadi berbahaya disebabkan sistem bioakumulasi, yaitu peningkatan konsentrasi unsur kimia didalam tubuh makhluk hidup (Hutagulung, 1991)

Logam berat bersifat toksik apabila berada di lingkungan. Delapan jenis logam berat yang paling umum menurut *Environment Protection Agency* (EPA) adalah As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb dan Zn (Khayatzadeh dan Abbasi, 2010). Sumber logam berat pada organisme akuatik seperti tiram, dapat dijadikan sebagai indikator terhadap kelestarian lingkungan perairan (Lionetto *et al.*, 2001 *dalam* Acker *et al.*, 2005).

Menurut Razak (1980) *dalam* Prasetyo (2009), diperairan, logam berat dapat ditemukan dalam bentuk terlarut dan tidak terlarut. Logam berat terlarut adalah logam yang berbentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik sedangkan logam berat yang tidak terlarut merupakan partikel yang berbentuk koloid dan kelompok senyawa logam yang terabsorpsi pada partikel-partikel tersuspensi. Menurut Rumimohtarto (1991) bahwa logam berat masuk kedalam

perairan laut melalui run off, air sungai, angin, proses hidrotermal, difusi dari sedimen dan kegiatan antropogenik. Jalur jalur tersebut akan berinteraksi membentuk suatu pola yang disebut siklus biogeokimia logam berat.

### 2.5.1 Timbal (Pb)

Menurut Reilly (1991), timbal atau timah hitam adalah sejenis logam berwarna coklat dengan nomor atom 82, berat atom 207.19, titik leleh 327,5° C, titik didih 1725° C dan berat jenis 11.4 gr/ml. Timbal mudah ekstraksi sehingga banyak digunakan oleh manusia dalam berbagai kegiatan misalnya pertambangan, industri dan rumah tangga. Effendi (2003) menjelaskan bahwa timbal (Pb) dalam perairan ditemukan dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Kelarutan timbal cukup rendah sehingga kadar timbal didalam air relatif sedikit. Kadar dan toksisitas timbal dipengaruhi oleh kesadahan, pH, Alkalinitas, dan kadar oksigen.

Sumber alamiah Pb yang termasuk kedalam perairan bias berasal dari pengikisan batuan mineral, hasil pelapukan kimiawi dari perapian, presipitasi dan jatuhan atmosfer, tumbuhan yang membusuk dan hewan yang terakumulasi logam berat. Adapun yang berasal dari aktifitas manusia antara lain berupa limbah industry ataupun limbah rumah tangga (Fardiaz, 1992). Logam berat Pb yang mencemari lingkungan utamanya berasal dari penggunaan bahan bakar oleh semua jenis kendaraan bermotor, bahan bakar seperti bensin memiliki kadar Pb yang sangat tinggi. Untuk mempermudah bensin premium terbakar, titik bakarnya harus diturunkan melalui peningkatan bilangan oktan dengan penambahan timbal dalam bentuk tetraetil (TEL). 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 (Widyanigrum *et al.*, 2007).

### 2.5.2 Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang termasuk dalam kelompok transition metal pada unsur periodik kimia. Cd memiliki nomor atom 48 dengan berat atom 112.42 (Fitriyah, 2007). Cadmium (Cd) biasanya jarang sekali ditemukan di alam dalam bentuk bebas. Keberadaannya di alam biasanya terdapat pada berbagai jenis batuan, tanah, batubara dan minyak. Cadmium (Cd) dapat terikat pada protein dan molekul organik lainnya dan membentuk garam dengan asam-asam organik. Dalam tubuh organisme, Cadmium dapat terakumulasi dengan waktu paruh tertentu (Fergusson, 1991).

Menurut Abdulgani *et al.*, (2008), Cadmium merupakan salah satu logam berat non esensial yang bersifat toksik seringkali ditemukan terakumulasi pada makhluk hidup. Effendy (2003) menambahkan bahwa Cadmium bersama-sama dengan Hg dan Pb merupakan logam berat yang hingga saat ini belum diketahui dengan jelas peranannya bagi tumbuhan dan makhluk hidup lain. Di dalam air, Cadmium terdapat dalam jumlah yang sedikit (renik) dan bersifat tidak larut dalam air. Sumber alami Cadmium adalah greenockite (CdS), Hawleyite, Sphalerite dan otavite.

### 2.5.3 Merkuri (Hg)

Merkuri merupakan logam berat bernomor atom 80 dengan berat atom 200.59, titik didih 356.9° C dan masa jenis 13.6 gr/ml (Reilly, 1991). Merkuri dalam perairan dapat berasal dari buangan limbah industri kelistrikan dan elektronik, baterai, pabrik bahan peledak, fotografi, pelapisan cermin, industri, bahan pengawet, pestisida, industri kimia, petrokimia, limbah kegiatan

laboratorium dan pembangkit tenaga listrik yang menggunakan tenaga fosil. Merkuri yang paling toksik adalah bentuk alkil merkuri yaitu metal dan etil merkuri (Suryadiputra, 1995).

Pada perairan alami, merkuri hanya ditemukan dalam jumlah yang sangat kecil. Merkuri merupakan satu-satunya logam berat yang berada dalam bentuk cair pada suhu normal. Merkuri terserap dalam bahan-bahan partikulat dan mengalami presipitasi. Pada dasar perairan anaerobik, merkuri berikatan dengan sulfur. Sumber alami merkuri yang paling umum adalah cinnabar, namun pelapukan bermacam-macam batuan dan erosi tanah dapat melepaskan merkuri ke dalam lingkungan perairan (Effendi, 2003).

Merkuri (Hg) adalah salah satu jenis logam berat yang sangat berbahaya. Bahaya merkuri khususnya Hg metal (MeHg) telah dikenal luas. Melalui proses akumulasi secara biologi (bioakumulasi), proses perpindahan secara biologi (biotransfer), dan pembesaran secara biologi (biomagnifikasi) yang telah terjadi secara alamiah, organisme laut mengakumulasi MeHg dalam konsentrasi yang relatif tinggi (Yasuda, 2000).

## **2.6 Kualitas Fisika dan Kimia Air**

### **2.6.1 Suhu**

Suhu Suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang, ketinggian dari permukaan laut, waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman badan air. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia dan biologi badan air. Suhu juga sangat berperan dalam pengendalian kondisi ekosistem perairan (Effendi, 2003). Dalam setiap penelitian pada ekosistem air pengukuran temperatur air merupakan hal yang mutlak dilakukan. Hal ini disebabkan karena kelarutan berbagai jenis gas di

dalam air serta semua aktivitas biologis-fisiologis di dalam ekosistem air sangat dipengaruhi oleh temperatur (Barus, 2002).

Suhu perairan merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi distribusi suatu organisme. Keberadaan jenis dan keadaan seluruh kehidupan komunitas pantai dan muara sungai cenderung bervariasi dengan berubahnya suhu (Rangan, 1996). Menurut Hutabarat dan Evans (1995) yang menyatakan bahwa suhu di perairan merupakan salah satu faktor penting bagi kehidupan organisme di dalamnya, karena suhu mempengaruhi aktivitas metabolisme maupun perkembangbiakan. Secara ekologis perubahan suhu menyebabkan perbedaan komposisi dan kelimpahan bivalvia dan gastropoda.

Suhu permukaan laut terbuka berkisar antara  $-2^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $29^{\circ}\text{C}$ . Variasi suhu harian (*diurnal variation*) di laut terbuka (*open ocean*) adalah kecil (jarang yang melebihi  $0,3^{\circ}\text{C}$ ). Variasi tahunan di permukaan naik dari  $2^{\circ}\text{C}$  di daerah ekuator ke  $8^{\circ}\text{C}$  di lintang  $40^{\circ}$  dan berkurang ke arah kutub (karena panas diperlukan dalam proses pencarian atau pembekuan dimana es laut (*sea-ice*) terjadi. Variasi tahunan yang besar ( $10 - 15^{\circ}\text{C}$ ) dapat terjadi di perairan-perairan yang terlindung. Perubahan harian dari suhu cukup besar sampai ke kedalaman beberapa meter. Perubahan musiman cukup besar sampai ke kedalaman  $100 - 300\text{ m}$  (Hadi, 2007). Menurut Sugiharto (2003), suhu  $22 - 25^{\circ}\text{C}$  adalah suhu normal perairan yang memungkinkan berlangsungnya kehidupan secara normal di dalamnya, baik kehidupan hewan maupun nabati.

Suhu perairan merupakan parameter fisika yang sangat mempengaruhi pola kehidupan biota akuatik seperti penyebaran, kelimpahan dan mortalitas (Brower *et al*, 1990). Menurut Sukarno (1981) bahwa suhu dapat membatasi sebaran hewan makrobenthos secara geografik dan suhu yang baik untuk pertumbuhan hewan makrobenthos berkisar antara  $25 - 31^{\circ}\text{C}$ . Suhu optimal



beberapa jenis mollusca adalah 20 °C dan apabila melampaui batas tersebut akan mengakibatkan berkurangnya aktivitas kehidupannya (Clark, 1986).

### 2.6.2 pH

Nilai pH menyatakan konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan, didefinisikan sebagai logaritma dari aktivitas ion hydrogen dan secara matematis dinyatakan sebagai  $pH = \log 1/H^+$ , dimana  $H^+$  adalah banyaknya ion hidrogen dalam mol per liter larutan. Kemampuan air untuk mengikat atau melepaskan sejumlah ion hidrogen akan menunjukkan apakah larutan tersebut bersifat asam atau basa (Barus, 2002).

Sebagaimana diketahui bahwa pada pH 6 – 9, kehidupan biota dalam suatu perairan dapat berlangsung secara normal, baik kehidupan hewan maupun tumbuhan air, karena dalam kondisi tersebut proses-proses kimia dan mikrobiologis yang menghasilkan senyawa yang berbahaya bagi kehidupan biota serta kelestarian lingkungan, tidak terjadi. Dengan demikian maka pH limbah rumah tangga yang telah melalui proses bioremediasi telah memenuhi syarat untuk dilepas ke lingkungan (Yusuf, 2008). Nilai pH perairan merupakan salah satu parameter yang penting dalam pemantauan kualitas perairan. Organisme perairan mempunyai kemampuan berbeda dalam mentoleransi pH perairan. Kematian lebih sering diakibatkan karena pH yang rendah daripada pH yang tinggi (Pescod, 1973).

Menurut Pennak (1978) bahwa pH yang mendukung kehidupan mollusca berkisar antara 5,7 – 8,4, sedangkan menurut Marrison *dalam* Hart dan Fuller (1974), bivalvia hidup pada batas kisaran pH 5,8 - 8,3. Nilai pH < 5 dan > 9 menciptakan kondisi yang tidak menguntungkan bagi kebanyakan organisme makrobenthos (Hynes, 1978). Effendi (2003) menyatakan bahwa sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH sekitar 7 –

8,5. Derajat keasaman (pH) berpengaruh pada setiap kehidupan organisme, namun setiap organisme mempunyai batas toleransi yang bervariasi terhadap pH perairan. Toleransi masing-masing jenis terhadap pH juga sangat dipengaruhi faktor lain seperti suhu dan oksigen terlarut.

Pada umumnya air laut mempunyai nilai pH lebih besar dari 7 yang cenderung bersifat basa, namun dalam kondisi tertentu nilainya dapat menjadi lebih rendah dari 7 sehingga menjadi bersifat asam. Derajat keasaman suatu perairan merupakan salah satu parameter kimia yang cukup penting dalam memantau kestabilan perairan. Perubahan nilai pH suatu perairan terhadap organisme akuatik mempunyai batasan tertentu dengan nilai pH yang bervariasi, tergantung pada suhu air laut, konsentrasi oksigen terlarut dan adanya anion dan kation (Pescod, 1973).

### **2.6.3 Dissolved Oxygen (DO)**

Oksigen merupakan salah satu gas yang terlarut dalam perairan. Kadar oksigen yang terlarut di perairan alami bervariasi, tergantung pada suhu, salinitas, turbulensi air, dan tekanan atmosfer. Semakin besar suhu dan ketinggian (*altitude*) serta semakin kecil tekanan atmosfer, kadar oksigen terlarut semakin kecil (Jeffries dan Mills, 1996 *dalam* Effendi, 2003).

Oksigen terlarut (Dissolved Oxygen = DO) dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernafasan, 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 (Salmin, 2005).

Konsentrasi oksigen terlarut (DO) menyatakan besarnya kandungan oksigen yang terlarut dalam suatu perairan. Konsentrasinya dipengaruhi oleh suhu, salinitas, turbulensi air dan tekanan atmosfer. Konsentrasinya juga berfluktuasi secara harian dan musiman tergantung pada pencampuran (*mixing*) dan pergerakan massa air, aktivitas fotosintesis, respirasi, dan limbah yang masuk perairan (Effendi, 2003).

Di lapisan permukaan laut, konsentrasi gas oksigen sangat bervariasi dan sangat dipengaruhi oleh suhu. Makin tinggi suhu, maka makin berkurang tingkat kelarutan oksigen. Oksigen terlarut berasal dari dua sumber yakni dari atmosfer dan dari hasil proses fotosintesis fitoplankton dan tanaman laut. Keberadaan oksigen terlarut ini sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan bagi kebanyakan organisme untuk kehidupan antara lain pada proses respirasi dimana oksigen diperlukan untuk pembakaran (metabolisme) bahan organik sehingga terbentuk energi diikuti dengan pembentukan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (Wibisono, 2010).

Oksigen terlarut atau dissolved oxygen (DO) adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan hanya sedikit larut dalam air. Untuk mampu bertahan hidup, organisme (heterotrofik) sangat bergantung pada ketersediaan oksigen terlarut. Kehidupan di air dapat bertahan dengan paling tidak terkandung 5 mg/l oksigen terlarut, selebihnya tergantung ketahanan organisme, derajat keaktifannya, kehadiran bahan pencemar, suhu, dan sebagainya (Sastrawijaya, 1991).

Sebagai salah satu indikator kualitas perairan, oksigen memegang peranan yang sangat penting dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. 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 nutrisi dan gas. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami (Salmin, 2005).

Menurut Ruyitno *et al.*, (2003), oksigen terlarut merupakan parameter kualitas air yang sangat vital bagi kehidupan organisme perairan. Penurunan kadar oksigen terlarut mempunyai dampak nyata terhadap makhluk hidup air.

#### 2.6.4 Total Bahan Organik (TOM)

Bahan organik total atau "*Total Organic Matter*" (TOM) menggambarkan kandungan bahan organik total suatu perairan yang terdiri dari bahan organik terlarut, tersuspensi ("particulate") dan koloid (Hariyadi *et al.*, 1992). Menurut NOAA (2003) dalam Bella dan Hilliker (2003), kandungan bahan organik di perairan berpengaruh terhadap logam berat yang diukur. Banyaknya bahan organik akan menurunkan kadar oksigen yang nantinya akan memudahkan pembentukan metil merkuri. Dengan kata lain logam berat akan menjadi lebih toksik bila bahan organik dalam perairan terlalu melimpah. Menurut Arrignon (2003) bahwa bahan organik pada dasarnya tersusun dari senyawa protein, glukosa, lemak dan vitamin yang umumnya akan mengalami proses oksidasi. Sumber bahan organik di perairan antara lain berasal dari limbah aktivitas antropogenik maupun dari zat sisa metabolisme organisme di perairan itu sendiri.

Bahan organik di perairan tersusun dari partikel organik yang terlarut maupun dalam bentuk agregat partikel organik, selain itu juga termasuk yang hidup maupun tak hidup. Namun sebagian besar bahan organik yang terdapat di perairan baik itu yang terlarut maupun yang tersuspensi adalah detritus. Bahan organik yang tersuspensi di perairan dimanfaatkan secara langsung oleh organisme yang bersifat heterotrofik (Wetzel dan Likens, 1975). Salah satu

organisme heterotrofik yang memanfaatkan bahan organik (tersuspensi) secara langsung adalah bivalvia.

### 2.6.5 Salinitas

Salinitas dapat didefinisikan sebagai jumlah total (gr) dari material padat termasuk garam NaCl yang terkandung dalam air laut sebanyak 1 kg dimana bromine dan iodine diganti dengan klorin dan bahan organik seluruhnya telah dibakar habis (Wibisono, 2010). Garam merupakan salah satu unsur yang sangat diperlukan untuk tiram. Beberapa spesies dapat tinggal selama 6 bulan pada salinitas yang rendah, tetapi umumnya salinitas yang rendah ini identik dengan kematian untuk tiram (Mezei, 2010).

Salinitas akan berpengaruh terhadap aktivitas fisiologis sel dimana dengan adanya peningkatan salinitas akan diikuti dengan peningkatan pengeluaran energi yang digunakan untuk proses osmoregulasi (penyesuaian tekanan ekstraseluler). Akibatnya sel tidak punya cukup energi untuk melakukan aktivitas akrosomal (Logo, 1988 dalam Effendi, 2010). Menurut Maslukah (2006), adanya pengaruh airan air tawar dari sungai menyebabkan stratifikasi salinitas di berbagai kedalaman baik pada waktu pasang maupun surut. Lapisan permukaan cenderung memiliki salinitas lebih rendah dibandingkan dengan lapisan tengah, dan lapisan tengah ini juga lebih rendah dengan salinitas dasar perairan. Stratifikasi salinitas ini juga terjadi secara horozontal dimana daerah yang jauh dari muara mempunyai salinitas yang lebih tinggi daripada daerah yang berada di muara.

Menurut Tillery (2002), salinitas didefinisikan sebagai jumlah garam-garaman yang terlarut dalam air. Tinggi rendahnya kadar salinitas di laut diantaranya dipengaruhi oleh laju evaporasi dan jumlah masukan air tawar yang berasal dari sungai, khususnya pada wilayah perairan panatai yang dekat

dengan muara. Menurut Prawirosusanto (1994), variasi salinitas pada wilayah *off shore* kecil sedangkan di wilayah pantai relatif besar, hal tersebut disebabkan oleh penambahan air sungai.



### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Materi Penelitian

Materi yang diteliti adalah Densitas dan Intensitas Metallothionein pada jaringan insang tiram *Crassostrea iredalei* di perairan Pantai Talang Siring Madura yang diduga tercemar logam berat.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Pengukuran parameter fisika dan kimia dilakukan secara langsung dan di laboratorium. Untuk pengambilan sampel air dilakukan di waktu yang sama dengan pengambilan sampel tiram. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

#### 3.3 Metode Pengumpulan Data

Metode pengambilan data yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif. Menurut Trianto (2010), Eksperimen dapat didefinisikan sebagai kegiatan terinci yang direncanakan untuk menghasilkan data untuk menjawab suatu masalah atau menguji sesuatu hipotesis. Suatu eksperimen akan berhasil jika variabel yang dimanipulasi dan jenis respon yang diharapkan dinyatakan secara jelas dalam suatu hipotesis, juga kondisi-kondisi yang akan dikontrol sudah tepat. Untuk keberhasilan ini, maka setiap eksperimen harus dirancang dulu kemudian di uji coba.

Penelitian ini mengamati ekspresi densitas dan intensitas metallothionein pada insang tiram dari beberapa stasiun di perairan Pantai Talang Siring. Tiram dari lokasi tersebut kemudian dibedah, dan diambil insangnya dan dilakukan pengamatan dengan teknik imunohistokimia untuk mengetahui densitas dan intensitas metallothionein. Kegiatan berikutnya adalah pengamatan kualitas air

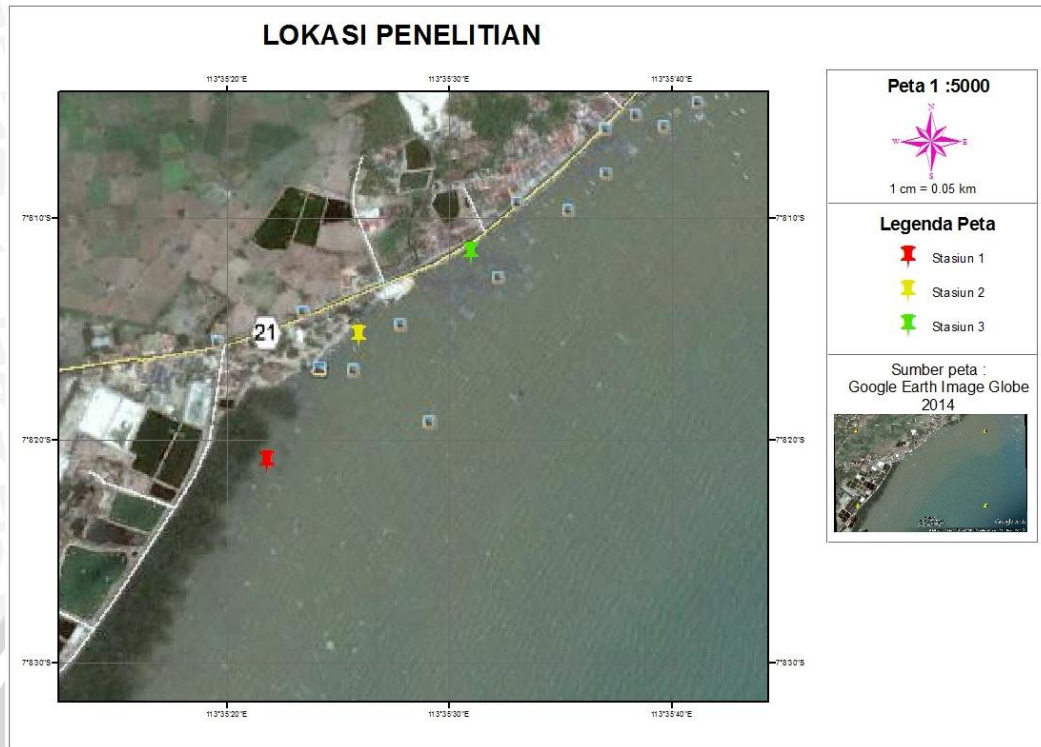
laut pada saat sampling untuk mengetahui hubungan ekspresi densitas dan intensitas metallothionein pada insang tiram.

#### 3.4 Penentuan Stasiun

Pengambilan sample tiram dilakukan di 3 lokasi, yaitu Lokasi I bertempat di kolam labuh I terletak di daerah mangrove yang dekat dengan tempat pembuangan sampah, Lokasi II terletak sekitar tempat pariwisata dan bagian pelabuhan yang digunakan sebagai berlabuhnya kapal-kapal nelayan penduduk sedangkan Lokasi III terletak di areal yang disekitar atas perairannya terdapat bagan tancap dan pemukiman warga.

Pemilihan lokasi-lokasi tersebut didasarkan pada dugaan jenis cemaran yang berasal dari sumber buangan limbah yang berbeda. Misalnya pada kolam labuh I, diduga cemaran berasal dari timbunan sampah yang berada di sekitar mangrove dan kawasan ini dekat dengan jalan raya yang menghasilkan gas emisi kendaraan bermotor, Sedangkan Lokasi II diduga cemaran berasal dari limbah domestik dan limbah oli buangan mesin kapal, atau limbah perbaikan kapal dan juga sampah yang disebabkan dari area pariwisata. Sedangkan Lokasi III, diduga cemaran berasal dari buangan limbah domestik / limbah rumah tangga dari pemukiman warga. Dari 3 stasiun tersebut, masing-masing stasiun ditentukan 3 titik (plot) jarak 100 meter dari titik sebelumnya secara horizontal di sepanjang pinggiran pantai serta di kondisikan dengan luasan stasiun yang ada, jadi banyak sampel keseluruhan ada 9 sampel. Parameter pendukung yang diukur antara lain suhu, pH, oksigen terlarut, salinitas dan Total organic matter.





**Gambar 4. Peta Stasiun Penelitian (Google Maps, 2014)**

### 3.5 Prosedur

#### 3.5.1 Pengambilan Sampel

Prosedur pengambilan sampel pada penelitian skripsi ini dilakukan 1 kali sampling menggunakan metode random sampling dengan jarak 100 meter dari titik sebelumnya secara horizontal di sepanjang pinggiran pantai serta di kondisikan dengan luasan stasiun yang ada. Prosedur pengambilan sampel dilakukan pada saat surut terendah di daerah intertidal. Pengambilan sampel dilakukan pada 3 stasiun yang telah ditentukan. Pengamatan dilakukan sebanyak 3 kali dalam 1 stasiun agar data yang didapat lebih akurat dan dapat mewakili semua tiram *Crassostrea iredalei* yang terdapat di tiap-tiap stasiun yang telah di tentukan.

Tiram *Crassostrea iredalei* yang hidup di sempadan perairan Pantai Talang Siring, yang menempel pada batu atau benda keras yang tidak berlumut maka

dapat dilakukan pencongkelan biota dengan menggunakan palu dan cetok, sedangkan palu digunakan untuk memudahkan betel pada saat pencongkelan biota saat air surut.

### 3.5.2 Preparasi Sampel

Metode preparasi sampel yang dilakukan selama proses Penelitian Skripsi ini yaitu dengan langkah – langkah sebagai berikut:

- mengambil tiram *Crassostrea iredalei* pada stasiun yang telah ditentukan.
- Membersihkan Tiram *Crassostrea iredalei* dengan air yang mengalir hingga bersih dari lumpur dan parasit.
- Memasukkan tiram *Crassostrea iredalei* yang telah dibersihkan kedalam wadah kantong plastik ukuran 1 kg.
- Selanjutnya mengikat kantong plastik yang telah terisi tiram *Crassostrea iredalei* dengan karet gelang kemudian memberikan label dan keterangan untuk menandai biota agar tidak tertukar.
- Setelah itu, memasukkannya ke dalam cool box yang berisi es batu dalam kemasan agar biota tidak membusuk saat diperjalanan.
- Selanjutnya membuat irisan jaringan tiram *Crassostrea iredale* di Laboratorium Ichthyologi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya Malang.

### 3.5.3 Pembuatan Irisan Jaringan

#### 3.5.3.1 Pembedahan dan Pengawetan Insang Tiram

Menurut Farabi (2012), pembedahan dan pengawetan insang tiram dapat dilakukan dengan cara:

- a. Membuka cangkang tiram menggunakan cetok.
- b. Membedah organ dalam menggunakan *sectio set*.

- c. Kemudian mengambil dan menimbang insang tiram.
- d. Memasukkan insang kedalam botol kaca yang telah diisi dengan larutan formalin 10%.

### 3.5.3.2 Pengamatan Histopatologi

Pengamatan Histopatologi dilakukan di Laboratorium Patologi Anatomi Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya, Malang. Menurut Muntiha (2001), prosedur histopatologi antara lain:

- a. **Organ difiksasi dengan formalin 10% selama semalam.**
- b. **Pemotongan jaringan Makros.**
  1. Mengambil organ yang telah difiksasi.
  2. Memotong Jaringan dengan ketebalan 2 - 3 mm
  3. Menyusun Jaringan kedalam *tissue cassette* sesuai dengan kode.
  4. Memasukkan *tissue cassette* ke dalam keranjang khusus.
- c. **Proses Dehidrasi**
  1. Memasukkan Keranjang kedalam tissue tex processor untuk diproses secara otomatis.
  2. Jaringan mengalami proses dehidrasi bertahap dengan putaran waktu: alkohol 70% (2 jam), alkohol 80% (2 jam), alkohol 90% (2 jam), alkohol absolut (2 jam), alkohol absolut (2 jam), xylol (2 jam), xylol (2 jam).
- d. **Proses Vakum**
  1. Meletakkan keranjang di dalam mesin vakum untuk penghilangan udara dari jaringan dengan temperatur (50-60°C) selama 30 menit.
  2. Mengambil Keranjang dan mengeluarkan *tissue cassette*.
- e. **Pengeblokan**
  1. Menghangatkan parafin cair, pinset dan cetakan.
  2. Menuangkan parafin cair kedalam cetakan.

3. Memasukkan jaringan dari *Tissue Tex* Prosesor kedalam cetakan yang telah diisi parafin cair, tekan jaringan agar semakin menempel didasar cetakan.
4. Mengambil tutup cetakan, meletakkan di atasnya dan di tekan. Pasang etiket dipinggir.
5. Membiarkan sampai membeku.
6. Setelah beku, mengeluarkan dari cetakan. Merapikan sisi-sisi blok. Mengganti etiket dengan yang permanen.
7. Sebelum dipotong, mendinginkan paraffin blok dengan es batu sampai  $\pm 30$  menit.

**f. Pemotongan dengan Mikrotom**

1. Menjepit blok pada mikrotom
2. Memotong blok paraffin dengan pisau mikrotom. Kemiringan:  $\pm 30^\circ$ . Tebal  $\pm 3-5$  mikron.
3. Memasukkan Hasil pemotongan (berupa pita/irisan tipis yang saling bersambung) kedalam waterbath yang diisi air yang sudah dihangatkan  $40^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$ . Kemudian diambil dengan kaca objek (Meletakkan potongan di waterbath tidak boleh terbalik).
4. Menyusun dalam *object glass box*.
5. Memasukkan ke dalam inkubator bersuhu  $60^\circ\text{C}$ .

**3.5.4 Pewarnaan Imunohistokimia**

Prosedur pewarnaan dengan menggunakan sampel bagian Insang Tiram (*Crassostrea iredalei*) dilakukan di Laboratorium Faal Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya, Malang. Menurut Larasati (2010), yaitu sebagai berikut:

1. Melakukan deparafinasi preparat (blok parafin) dengan xylol sebanyak 3 kali masing-masing 3 menit.

2. Merehidrasi preparat dengan menggunakan atanol 100%, 95% dan 70%.  
Masing-masing selama dua menit, dua menit, dan satu menit.
3. Menetesi masing-masing sample PBS sebanyak 3 kali setiap 5 menit.  
PBS berfungsi dalam menstabilkan pH jaringan.
4. Menetesi 3CDTA dan dibiarkan selama 10 menit. Berfungsi sebagai fiksasi jaringan.
5. Menetesi Na-sitrat dan dibiarkan selama 10 menit.
6. Membilas dengan PBS sebanyak 3 kali setiap 5 menit.
7. Menetesi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0,3% dan dibiarkan selama 30 menit.
8. Membilas dengan PBS sebanyak 3 kali setiap 5 menit.
9. Menginkubasi serum 1% di PBS dan ditunggu selama 30 menit.
10. Menetesi antibodi Metallothionein dan diinkubasi di kulkas selama 1 malam.
11. Membilas dengan PBS sebanyak 3 kali setiap 5 menit.
12. Menetesi 2<sup>nd</sup>AB in PBS dengan perbandingan 1:200 dan dibiarkan selama ... menit.
13. Membilas dengan PBS sebanyak 3 kali setiap 5 menit.
14. Menetesi detection antibody dan dibiarkan selama 60 menit.
15. Membilas PBS sebanyak 2 kali setiap 5 menit.
16. Mencuci aquades dan dibiarkan selama 5 menit.
17. Menetesi DAB (*Male Fresh*) dengan perbandingan 1:45 hingga berwarna coklat.
18. Membilas dengan D<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O.
19. Mentetesi dengan haematoxylin selama 10 menit.
20. Menbilas dengan D<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O.
21. Membilas dengan air kran.

### 3.5.5 Scan dengan Dotslide Mikroskop

Pada pengamatan mikroskop, digunakan dot slide mikroskop dengan merk OLYNPUS SN 3K19322.

#### a. Fungsi Scan:

1. Menyalakan seluruh power, mikroskop, CPU, layar monitor dan power server.
2. Menunggu sampai proses loading selesai.
3. Setelah komputer siap, menekan 2 kali Dot Slide.
4. Untuk proses scan diprogram dot slide ada lima pilihan koak yang terdiri dua baris atas dan bawah.
5. Kotak atas digunakan untuk single scan (satu slide).
6. Kotak bawah digunakan untuk multisingle scan (lebih dari satu slide).
7. Mengklik salah satu kotak pilihan sesuai dengan kebutuhan.
8. Mengklik manual load tataan slide mikroskop akan lebih menonjol ke depan.
9. Meletakkan slide pada papan slide dengan benar dan klik OK.
10. Mengklik next.
11. Memilih perbesaran yang akan discan sesuai dengan kebutuhan.
12. Mengklik scan now untuk memulai proses scan.
13. Menunggu proses scan sampai selesai.
14. Setelah selesai, mengklik file-save as- di pojok kiri atas dan memasukkan folder dan diberi nama file sesuai dengan keinginan.

#### b. Fungsi Foto

1. Memilih menu live.
2. Mengatur menggunakan jointistik sesuai gambar objek yang dimaksud.
3. Mengatur focus di jointistik, setelah focus sempurna sesuai dengan yang dimaksud kemudian klik Snapshot.



4. Mengklik file-save as- di pojok kiri atas dan di masukkan folder dan diberi nama file sesuai dengan keinginan.

### 3.5.6 Perhitungan Densitas dan Intensitas

Prosedur analisis densitas metallothionein dapat dilakukan dengan dua cara yaitu sebagai berikut :

#### a. Manual

Perhitungan analisis densitas secara manual adalah dengan menggunakan *software olyVIA*. Prosedur perhitungan manual adalah sebagai berikut :

1. Menyalakan komputer
2. Menunggu sampai proses loading selesai
3. Setelah komputer siap, membuka perangkat lunak *olyVIA*
4. Membuka scan gambar pada file
5. Memilih gambar yang diperlukan menggunakan image navigator
6. Menghitung banyak metallothionein menggunakan hand tally counter

#### b. Otomatis

Perhitungan densitas secara otomatis adalah dengan menggunakan gambar yang diperoleh dari hasil pengamatan secara manual menggunakan *software olyVIA*, dan prosedurnya adalah sebagai berikut :

- **olyVIA**

1. Menyalakan komputer
2. Menunggu sampai proses loading selesai
3. Membuka perangkat lunak *olyVIA*
4. Membuka scan pada gambar file
5. Memilih gambar yang diperlukan menggunakan image navigator
6. Menghitung banyak metallothionein menggunakan hand tally counter
7. Klik copy to clipboard untuk memindah gambar

- **Paint**

1. Klik start pada layar komputer
2. Membuka paint
3. Klik copy display to clipboard untuk memindah gambar
4. Pada paint, pilih paste
5. Memilih save as untuk menyimpan gambar

- **ImageJ**

1. Membuka Mozilla Firefox/Google Chrome atau browser lainnya
2. Download ITCN 1.6 jar di

<https://www.google.com/search?q=mozilla+firefox+adalah&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:en-US:official&client=firefox-a>

3. Plugin ITCN di program files > imageJ > plugins > paste
4. Membuka imageJ
5. Memilih file > open > pilih gambar yang akan di analisis
6. Klik edit > invert, untuk mengetahui bagian yang akan dihitung
7. Klik image > type > 8 bit, untuk mengubah gambar menjadi grayscale
8. Klik Plugins > ITCN > count
9. Result, untuk mendapatkan hasil jumlah MT pada gambar

Prosedur analisis intensitas metallothionein dapat dilakukan dengan cara yaitu sebagai berikut :

- **olyVIA**

1. Menyalakan komputer
2. Menunggu sampai proses loading selesai
3. Membuka perangkat lunak olyVIA
4. Membuka scan pada gambar file
5. Memilih gambar yang diperlukan menggunakan image navigator



6. Menghitung banyak metallothionein menggunakan hand tally counter
7. Klik copy to clipboard untuk memindah gambar

- **Paint**

1. Klik start pada layar komputer
2. Membuka paint
3. Klik copy display to clipboard untuk memindah gambar
4. Pada paint, pilih paste
5. Memilih save as untuk menyimpan gambar

- **imageJ**

1. Membuka imageJ
2. Memilih file > open > pilih gambar yang akan di analisis
3. Klik analyze > set measurement > centang Area, Mean Gray Value, Integrated Density, Stdev dan Display label, Redirect to gambar yang akan dianalisis > OK
4. Klik "OVAL", elliptical or brush selections
5. Arahkan ke gambar, untuk menyamakan lingkaran di gambar yang lain perhatikan navigation bar, catat weight dan height.
6. Menekan M pada keyboard untuk mengetahui hasil ukuran warna

### 3.5.7 Analisis Kualitas Air Pendukung

Parameter analisa kualitas air pendukung penelitian ini terdiri dari suhu, pH, oksigen terlarut, TOM, dan salinitas di lokasi. Tujuan analisa kualitas ini untuk mendukung, menunjang serta untuk mengetahui kondisi lingkungan perairan tempat hidup tiram.

#### 1. Suhu

Prosedur pengukuran suhu diukur dengan Termometer Hg Menurut Subarijanti (1990) adalah sebagai berikut:

- Memasukkan termometer Hg ke dalam perairan, dan ditunggu beberapa saat sampai air raksa dalam termometer berhenti pada skala tertentu
- Mencatat dalam skala °C
- Membaca skala pada saat termometer masih di dalam air, dan jangan sampai tangan menyentuh bagian air raksa thermometer.

## 2. pH

Pengukuran pH di lakukan dengan pH paper Menurut Suprpto (2011) adalah sebagai berikut:

- Menyiapkan pH paper
- Memasukkan pH paper ke dalam contoh air sekitar 3 menit, kemudian mencocokkan perubahan warna pH paper dengan kotak standar.

## 3. Oksigen terlarut

Prosedur pengukuran oksigen terlarut di lakukan dengan cara Winkler Menurut Suprpto (2011) adalah sebagai berikut:

- Mengukur dan mencatat volume botol DO yang akan digunakan  $\pm$  250 – 300 mL
- Memasukkan botol DO ke dalam air yang akan diukur oksigennya secara perlahan-lahan dengan posisi miring dan diusahakan jangan sampai ada gelembung udara
- Menutup botol DO didalam air dan dipastikan tidak ada gelembung udara
- Menambahkan  $MnSO_4$  2 ml, NaOH + KI 2 ml lalu bolak-balikkan botolnya sampai homogen
- Mengendapkan dan didiamkan selama kurang lebih 30 menit sampai terjadi endapan coklat

- Membuang air yang bening di atas endapan, dan menambahkan 1-2 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan mengkocok sampai endapan larut
- Menambahkan 3-4 tetes amylum, diaduk dan dititrasi dengan Na-thiosulfat 0,025 N sampai jernih
- Mencatat volume titran
- Mengukur kadar oksigen yang terlarut dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{DO ( mg/lt )} = \frac{v(\text{titran}) \times N(\text{titran}) \times 8 \times 1000}{V \text{ botol DO} - 4}$$

Keterangan :

v : ml larutan Natrium Thiosulfat untuk titrasi

N : Normalitas larutan Natrium thiosulfat

V : Volume botol DO

#### 4. Total Bahan Organik (TOM)

Menurut SNI (1990), prosedur pengukuran TOM menggunakan metode titrasi adalah sebagai berikut :

- Memasukkan 50 ml air sampel ke dalam Erlenmeyer
- Menambahkan 9,5 ml  $\text{KMnO}_4$  dari buret dan ditambahkan 10 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- Dipanaskan di atas water bath sampai suhu mencapai  $70-80^\circ \text{C}$  kemudian angkat
- Bila suhu telah turun menjadi  $60-70^\circ \text{C}$  langsung tambahkan Na-oxalate 0,01 N perlahan sampai tidak berwarna
- Segera titrasi dengan  $\text{KMnO}_4$  0,01 N sampai terbentuk warna (merah jambu / pink) dan volume yang terpakai dicatat sebagai ml titran (x ml)
- Melakukan prosedur (1-5) dengan menggunakan sampel berupa aquadest dan dicatat titran yang digunakan sebagai (y ml). Selanjutnya kadar TOM dalam perairan tersebut dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{TOM (mg/l)} = \frac{(x - y) \times 31,6 \times 0,01 \times 1000}{v \text{ air sampel}}$$

Keterangan : x = ml titran untuk air sampel

Y = ml titran untuk aquades

31,6 = 1/5 dari BM  $\text{KMnO}_4$  karena tiap mol  $\text{KMnO}_4$

melepaskan 5  $\text{O}_2$  dalam reaksi ini

0,01 = normalitas  $\text{KMnO}_4$

## 5. Salinitas

Menurut SNI (1990), prosedur pengukuran salinitas dengan menggunakan

Refraktometer adalah sebagai berikut :

- Menyiapkan refraktometer
- Membuka penutup kaca prisma dan mengkalibrasi dengan aquadest
- Membersihkan dengan tissue secara searah
- Meneteskan 1-2 tetes air yang akan diukur salinitasnya
- Menutup kembali dengan hati-hati agar tidak terjadi gelembung udara dipermukaan kaca prisma
- Mengarahkan ke sumber cahaya
- Melihat nilai salinitasnya dan air yang diukur melalui kaca prisma

### 3.5.8 Prosedur Analisis Logam Pb, Cd, dan Hg

Menurut Departement Pekerjaan Umum 1990 *dalam* Widiati, 2010, metode analisis logam Pb, Cd dan Hg sebagai berikut :

- Menimbang masing-masing sampel padat  $\pm 15$  gr dengan timbangan Sartorius untuk mendapatkan berat basah.
- Mengoven sampel padat pada suhu  $\pm 105^\circ\text{C}$  selama 3-5 jam sampai mendapat berat konstan.

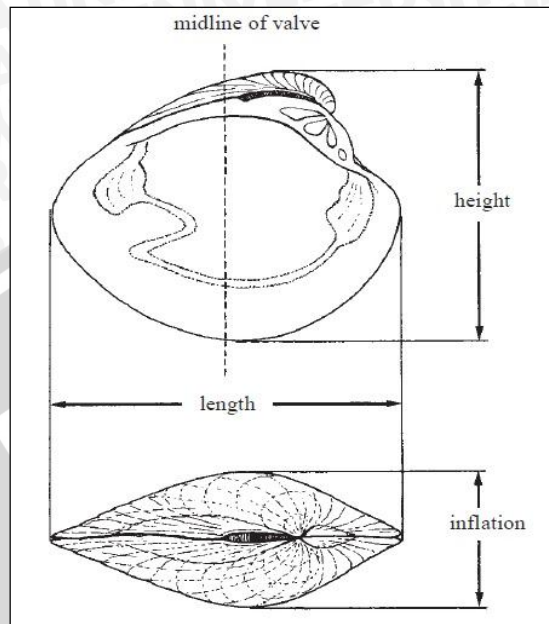
- Menimbang berat konstan dengan timbangan Sartorius sebagai berat kering.
- Memasukkan sampel yang sudah kering ke dalam *beaker glass* 100 ml.
- Menambahkan HNO<sub>3</sub> dengan perbandingan 1:1 (HNO<sub>3</sub>:HCL) sebanyak ± 10-15 ml.
- Memanaskan diatas *hot plate* di dalam kamar asam sampai ± 3 ml.
- Menyaring dengan kertas saring ke dalam labu ukur 50 ml.
- Mengulang proses penyaringan sampai tanda batas labu ukur dengan terlebih dahulu menambahkan 15 ml aquades ke dalam *beaker glass*.  
Tempat sampel.
- Menganalisis sampel dengan menggunakan mesin *Atomic Absorbstion Spectrophotometer* (AAS) pada panjang gelombang 283,3 nm.
- Menyiapkan larutan standar.
- Menganalisis larutan standar dengan mesin AAS dan mencatat nilai absorbannya kemudian membuat kurva kalibrasinya. Larutan standar ini berfungsi untuk membantu nilai konsentrasi logam Pb, Cd, dan Hg pada sampel, karena prinsip kerja mesin AAS hanya menentukan nilai absorbansi dengan sampel.

### 3.6 Prosedur Pungukuran Ukuran Tiram

Prosedur yang dilakukan untuk mengukur panjang, lebar dan tinggi tiram yaitu disiapkan jangka sorong yang digunakan untuk mengukur panjang, lebar serta tinggi tiram. Kemudian diambil sampel tiram dari masing-masing stasiun sebanyak 3 kali pengulangan dari ukuran yang terkecil hingga yang terbesar. Lalu diukur panjang, lebar serta tinggi tiram menggunakan jangka sorong. Dicatat hasilnya. FAO (1998) mengutarakan bagian dari sisi-sisi cangkang tiram yang

repository.ub.ac.id

dijadikan acuan dalam pengukuran panjang, tinggi dan lebar tiram pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 5. Bagian-bagian sisi cangkang bivalvia FAO (Carpenter K.E.dan Volker H.N. 1998)**

### 3.7 Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan regresi korelasi dengan model regresi linier berganda pada aplikasi SPSS versi 16.0, yaitu analisa yang mampu menjelaskan pola hubungan antara ukuran (panjang) tiram yang merupakan variabel bebas ( $X_1$ ), kadar logam berat Pb, Cd dan Hg yang merupakan variabel bebas ( $X_2$ ), dengan kadar metallothionein (MT) pada tubuh tiram *Crassostrea cucullata* yang merupakan variabel terikat (Y). Hal ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara ukuran (panjang) tiram dan kadar logam berat Pb, Cd dan Hg dengan kandungan metallothionein pada Insang tiram *C. cucullata* yang diambil dari perairan Pantai Prenduan, Pamekasan, Madura. Adapun persamaan model regresi linier berganda yang digunakan menurut Walpole (1995), yaitu:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

Keterangan :

Y = Variabel terikat (kadar metallothionein (MT) pada tubuh tiram *Crassostrea cucullata*)

a = Intersep atau perpotongan dengan sumbu tegak

$b_1$  = Kemiringan atau gradien variabel bebas ke-1

$b_2$  = Kemiringan atau gradien variabel bebas ke-2

$X_1$  = Variabel bebas ke-1 (ukuran/panjang tiram)

$X_2$  = Variabel bebas ke-2 (kadar logam berat Pb, Hg dan Cd)



## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Gambaran Umum Perairan Pantai Talang Siring

Pantai Talang Siring terletak di Desa Montok Kecamatan Larangan, Kabupaten Pamekasan. Berjarak sekitar 14 km ke arah timur dari Kabupaten Pamekasan dan dapat ditempuh dengan mobil angkutan umum maupun kendaraan pribadi. Lokasi wisata ini selalu ramai dikunjungi wisatawan karena letaknya berdekatan dengan jalan lintas jurusan Kalianget - Kamal. Di sekitar perairan pantai Talang Siring terdapat kawasan mangrove, kawasan perikanan, dan juga kawasan pemukiman penduduk.

Pantai Talang Siring terletak di sebelah Timur pusat Kabupaten Pamekasan, Madura yang merupakan salah satu pantai di Madura yang memiliki banyak aktivitas manusia di sekitar perairan pantai. Letak pantai Talang Siring secara geografis berada pada posisi  $7^{\circ}8'10'' - 7^{\circ}8'20''$  Lintang Selatan dan  $113^{\circ}35'20'' - 113^{\circ}35'30''$  Bujur Timur.

Kawasan wisata pesisir Talang Siring memiliki potensi wisata sebagai daya tarik bagi wisatawan diantaranya pantai Talang Siring, Makam Joko Tarub, Perahu nelayan, kesenian Saronen, pusat oleh-oleh khas Madura, petik laut dan hutan mangrove sebagai penyangga wisata pantainya. Dari penjelasan sebelumnya didapat dua potensi yang memiliki nilai tertinggi, yaitu pantai Talang Siring dan makam Joko Tarub. Wisata pantai Talang Siring merupakan tempat kegiatan utama yang dikunjungi oleh wisatawan yang dijadikan sebagai wisata utama di kawasan pesisir Talang Siring dan yang lain sebagai wisata pendukung, dan hutan mangrove sendiri memang tidak diperuntukan untuk wisatawan melihat dari fungsinya sebagai daerah konservasi (Rizkiyani, 2013). Batas-batas wilayah pantai Talang Siring adalah sebagai berikut:

- Sebelah utara : Desa Lancar dan Desa Ta'aban



- Sebelah selatan : Kecamatan Galis dan Kecamatan Larangan
- Sebelah timur : Selat Madura
- Sebelah barat : Desa Panaguan



**Gambar 6. Peta sekitar Pantai Talang Siring**

## 4.2 Deskripsi Stasiun Pengamatan

### 4.2.1 Stasiun I

Stasiun I terletak di kawasan hutan mangrove. Dimana kawasan ini selain sebagai kawasan pariwisata, memiliki peran penting di dalam ekologi perairan pantai seperti pelindung pantai dari hantaman gelombang laut yang dapat mengakibatkan abrasi air laut. Selain itu hutan mangrove juga berfungsi sebagai tempat mencari makan dan tempat memijah, serta sebagai tempat perlindungan dan pertumbuhan organisme atau biota laut salah satunya tiram *Crassostrea iredalei*. Tiram *Crassostrea iredalei* dapat dijumpai di semua batang dan akar-akar mangrove. Banyak perahu-perahu nelayan yang melintas di sekitar kawasan mangrove. Kawasan mangrove ini dekat dengan jalan raya yang

repository.ub.ac.id

menghasilkan emisi gas kendaraan bermotor yang dapat menambah kandungan logam berat di kawasan mangrove ini.



**Gambar 7. Lokasi Stasiun I (Kawasan Mangrove)**

#### **4.2.2 Stasiun II**

Stasiun II terletak di area perikanan pantai yaitu tempat berlabuhnya kapal atau perahu-perahu nelayan setelah mendaratkan hasil tangkapan ikan. Area ini merupakan area yang potensial tercemar logam berat karena aktivitas bongkar muat kapal seperti pengisian bahan bakar solar pada kapal dan pergantian oli yang dapat menghasilkan limbah logam berat berbahaya. Gas buangan kapal-kapal motor pada daerah ini juga dapat menambah kandungan logam berat pada area ini. Selain itu, area ini merupakan tempat pariwisata dimana banyak masyarakat yang datang untuk menikmati panorama pantai Talang Siring. Di sekitar pantai banyak terdapat masyarakat yang menjajakan dagangannya berupa makanan, minuman, maupun aksesoris.



**Gambar 8. Lokasi Stasiun II (Kawasan Pariwisata dan Perkapalan)**

#### 4.2.3 Stasiun III

Stasiun III terletak di kawasan pemukiman penduduk dan kawasan perikanan bagan tancap. Pada kawasan ini terdapat masukan limbah sebagai hasil aktivitas rumah tangga yang berpotensi mengandung logam berat berbahaya. Pada kawasan ini banyak terdapat aktivitas perikanan seperti bagan tancap. Banyak kapal-kapal nelayan yang melintas pada kawasan ini untuk memindahkan hasil tangkapan yang berasal dari laut maupun dari bagan tancap ke daerah pendaratan ikan.



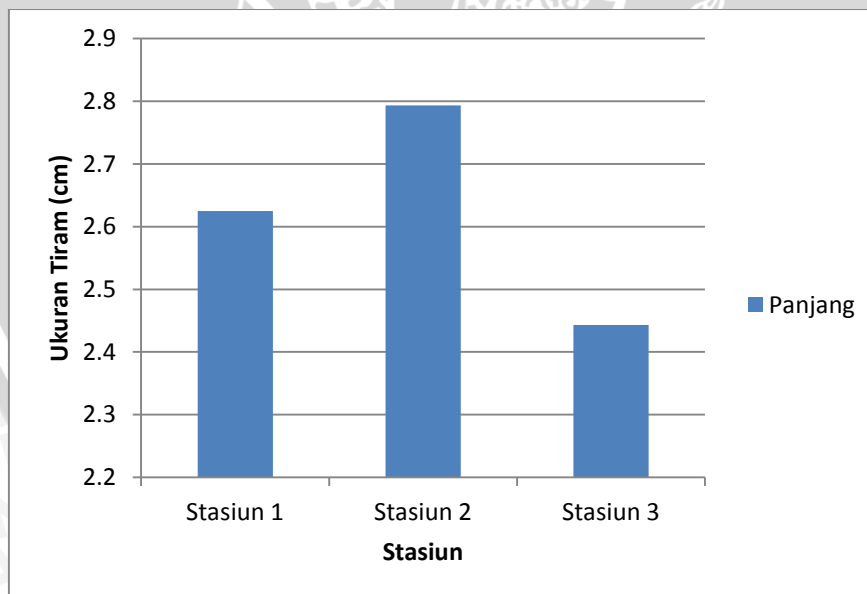
**Gambar 9. Lokasi Stasiun III (Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap)**

#### 4.3 Sebaran Ukuran Sampel Tiram

Pada Pantai Talang Siring terdapat bermacam-macam ukuran yang berbeda dari setiap lokasi yang dijadikan tempat penelitian, dari setiap stasiun yang diuji terdapat 3 plot, pada masing-masing plot diambil beberapa sampel tiram dan diukur panjang tiram. Setelah diukur dari sampel tiap plot didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 1 dibawah ini.

**Tabel 1. Ukuran Sebaran Sampel Tiram**

Stasiun	Tiram	Panjang	Rata-Rata
I	1	2.02	2.625
	2	2.05	
	3	3.81	
II	1	2.91	2.793333333
	2	3.13	
	3	2.34	
III	1	3.07	2.443333333
	2	2.34	
	3	1.92	



**Gambar 10. Grafik ukuran panjang rata-rata tiram pada tiap Stasiun**

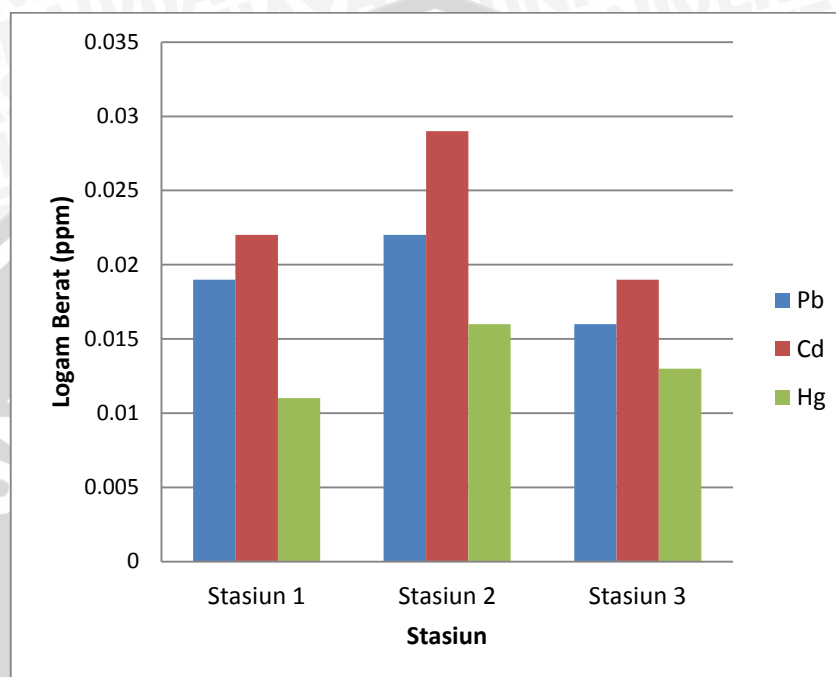
Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan ukuran tiram yang terdapat pada masing-masing stasiun terdapat perbedaan, pada Kawasan Mangrove terdapat 3 plot yang diantaranya pada plot 1 terdapat tiram berukuran panjang 2.02 cm, pada plot 2 terdapat tiram berukuran panjang 2.05 cm, pada plot 3 terdapat tiram berukuran panjang 3.81 cm. Pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan juga terdapat 3 plot yang diantaranya juga diambil dari tiap plot satu sampel tiram. Pada plot 1 terdapat tiram berukuran panjang 2.91 cm, ada plot 2 terdapat tiram berukuran panjang 3.13 cm, pada plot 3 terdapat tiram berukuran panjang 2.34 cm. Pada Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap juga terdapat 3 plot yang diantaranya diambil dari tiap plot satu sampel tiram. Pada plot 1 terdapat tiram berukuran panjang 3.07 cm, pada plot 2 terdapat tiram berukuran panjang 2.34 cm, pada plot 3 terdapat tiram berukuran panjang 1.92 cm.

Hasil penelitian ini memberikan gambaran yang menunjukkan adanya suatu faktor yang saling mempengaruhi antara satu sama lain. Diduga semakin besar ukuran (tua) tiram maka akan semakin baik kemampuannya dalam mengeliminasi logam berat. Hubungan logam berat dan kadar metallothionein yang terdapat dalam tubuh tiram memiliki hubungan yang erat antar keduanya. Secara umum MT memainkan peran penting dalam detoksifikasi ionlogam berat (Klassen, *et al.*, 1999). Hasil penelitian ini diterapkan oleh adanya kemungkinan yang disebabkan oleh kadar logam berat lingkungan yang berbeda antara kedua tiram tersebut.

#### **4.4 Logam Berat Pb, Cd, Hg pada Perairan**

Kadar logam berat Pb, Cd dan Hg pada perairan pantai Talang Siring di ketiga stasiun menunjukkan hasil yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan adanya perbedaan karakteristik maupun sumber bahan pencemar dari tiap stasiun

pengamatan, dapat dilihat pada **Lampiran 2**. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kadar logam berat dari ketiga stasiun, Cd memiliki kadar tertinggi kemudian Pb dan disusul dengan Hg. Perbandingan logam berat Pb, Cd dan Hg dari ketiga stasiun dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



**Gambar 11. Kadar logam berat Pb, Cd, Hg di air laut pada tiga stasiun**

Berdasarkan grafik di atas, kadar logam berat Pb di perairan pantai Talang Siring pada Kawasan Mangrove sebesar 0,019 ppm, pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan sebesar 0,022 ppm dan pada Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap sebesar 0,016 ppm. Kadar Pb tertinggi terdapat pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan dan kadar Pb terendah terdapat pada Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap. Tingginya kadar Pb di Kawasan Pariwisata dan Perkapalan disebabkan karena pada lokasi ini banyak terdapat aktivitas kapal motor nelayan yang melintas maupun yang sedang bersandar untuk pengisian bahan bakar dan pergantian oli sehingga dapat menghasilkan limbah logam berat Pb yang berbahaya. Menurut Palar (2012), sumber Pb dapat berasal dari buangan gas kendaraan bermotor, Pb yang merupakan hasil samping dari

pembakaran ini berasal dari senyawa tetrametil-Pb dan tetraetil-Pb yang selalu ditambahkan dalam bahan bakar kendaraan bermotor dan berfungsi sebagai anti ketuk (*anti-knock*) pada mesin-mesin kendaraan. Murtini dan Peranginangin (2006) menambahkan bahwa timbal (Pb) yang masuk ke dalam perairan melalui pengendapan dan jatuhnya debu yang mengandung Pb dari hasil pembakaran bensin, erosi dan limbah industri. Menurut Siaka (2008), pada umumnya cat anti korosi pada kapal motor mengandung timbal (Pb). Secara keseluruhan, kadar logam berat Pb pada perairan pantai Talang Siring di tiga stasiun berkisar antara 0,016 – 0,022 ppm, hal ini menunjukkan bahwa kadar logam berat Pb di perairan pantai Talang Siring masih di bawah ambang batas yang telah ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 yaitu sebesar 0,03 ppm. Namun jika dibandingkan dengan Kepmen LH No. 51 Tahun 2004, kadar logam berat Pb di perairan Talang Siring telah melampaui batas yang diperbolehkan untuk kehidupan biota laut, yaitu sebesar 0,008 ppm.

Kadar logam berat Cd di perairan pantai Talang Siring pada Kawasan Mangrove sebesar 0,022 ppm, pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan sebesar 0,029 ppm dan pada Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap sebesar 0,019 ppm. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kadar Cd tertinggi terdapat pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan dan kadar Cd terendah terdapat pada Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap. Tingginya kadar Cd di Kawasan Pariwisata dan Perkapalan disebabkan karena pada lokasi ini merupakan tempat wisata yang berpotensi tercemar limbah dari wisatawan yang berkunjung, selain itu banyak terdapat aktivitas nelayan yang melakukan pengisian bahan bakar dan pergantian oli pada kapal motor mereka sehingga dapat menghasilkan limbah logam berat Cd. Hal ini sesuai dengan pendapat Eckenfelder (1989) yang menyatakan bahwa kadmium (Cd) banyak digunakan dalam industri pelapisan logam, peralatan elektronik, pelumas, baterai, dan lain-lain. Sembel (2011) dalam

penelitiannya melaporkan bahwa nilai rata-rata konsentrasi Cadmium (Cd) di Estuari Sungai Belau adalah 0.015 mg/L. Tingginya konsentrasi tersebut disebabkan oleh aktivitas manusia melalui limbah kota dan *docking* kapal yang berada di sekitar sungai. Secara keseluruhan, kadar logam berat Cd pada perairan pantai Talang Siring di tiga stasiun berkisar antara 0,019 – 0,029 ppm, hal ini menunjukkan bahwa kadar logam berat Cd di perairan pantai Talang Siring telah melewati ambang batas yang diperbolehkan untuk kepentingan biota laut. Menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. 02 Tahun 1988, nilai ambang batas Cd untuk kepentingan biota laut tidak boleh lebih dari 0,01 ppm. Begitu pula jika dibandingkan dengan Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut untuk biota laut, nilai ambang batas Cd untuk kepentingan biota laut tidak boleh lebih dari 0,001 ppm.

Kadar logam berat Hg di perairan pantai Talang Siring pada Kawasan Mangrove sebesar 0,011 ppm, pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan sebesar 0,016 ppm dan pada Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap sebesar 0,013 ppm. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kadar Cd tertinggi terdapat pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan dan kadar Cd terendah terdapat pada Kawasan Mangrove. Tingginya kadar Pb di Kawasan Pariwisata dan Perkapalan disebabkan karena pada lokasi ini merupakan tempat wisata yang berpotensi tercemar limbah dari wisatawan yang berkunjung, selain itu banyak terdapat aktivitas nelayan yang melakukan pengisian bahan bakar, pergantian oli dan melakukan pengecatan pada kapal motor mereka sehingga dapat menghasilkan limbah logam berat Hg.

Menurut Eckenfelder (1989) bahwa senyawa merkuri banyak digunakan dalam pembuatan cat, senyawa anti karat, komponen listrik, ekstraksi emas dan perak, baterai dan juga elektronik. Secara keseluruhan, kadar logam berat Hg pada perairan pantai Talang Siring di tiga stasiun berkisar antara 0,011 – 0,016



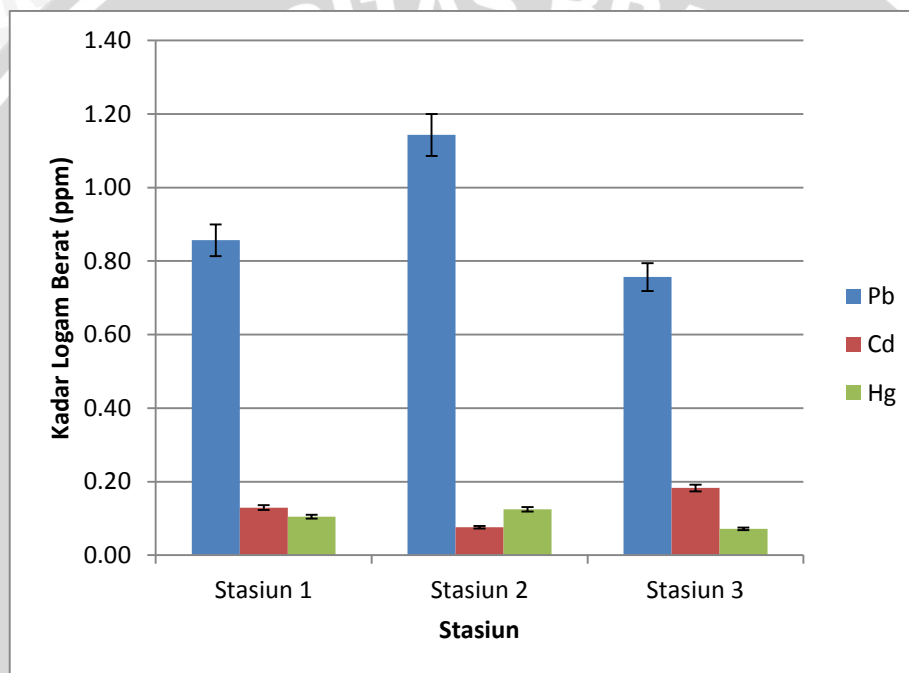
ppm, hal ini menunjukkan bahwa kadar logam berat Hg di perairan pantai Talang Siring telah melewati ambang batas yang diperbolehkan untuk kepentingan biota laut. Menurut Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001, nilai ambang batas Hg untuk kepentingan biota laut tidak boleh lebih dari 0,002 ppm. Begitu pula jika dibandingkan dengan Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut untuk biota laut, nilai ambang batas Hg untuk kepentingan biota laut tidak boleh lebih dari 0,001 ppm.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat diketahui bahwa kadar logam berat tertinggi pada perairan pantai Talang Siring pada ketiga stasiun yaitu Cd, kemudian Pb, dan yang terakhir adalah Hg. Tingginya kadar logam berat kadmium (Cd) pada perairan pantai Talang Siring diduga karena semakin banyaknya pemakaian Cd oleh masyarakat di sekitar pantai, khususnya penggunaan pelumas pada kapal-kapal nelayan yang mengandung banyak logam berat Cd. Semakin bertambahnya jumlah kapal-kapal bermotor diduga turut berpengaruh terhadap peningkatan konsentrasi logam berat Cd di perairan pantai Talang Siring.

Menurut Palar (2012), logam berat Cd banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari manusia seperti sebagai stabilisasi bahan pewarna dalam industri plastik dan pada elektroplating, selain itu banyak digunakan pada industri-industri ringan seperti pada proses pengolahan roti, pengolahan ikan, pengolahan minuman, industri tekstil, dan lain-lain sehingga logam berat Cd banyak dijumpai pada daerah-daerah penimbunan sampah, aliran air hujan dan air buangan. Berdasarkan pembahasan di atas, kadar logam berat Pb, Cd dan Hg pada perairan pantai Talang Siring telah melewati ambang batas yang ditetapkan. Hal ini akan sangat membahayakan bagi biota laut maupun masyarakat peisisir karena logam-logam berat yang terlarut dalam badan perairan pada konsentrasi tertentu akan menjadi sumber racun bagi ekosistem suatu perairan.

#### 4.5 Logam Berat Pb, Cd, Hg pada Insang Tiram

Menurut Ramakritinan *et al.*, (2012), logam berat yang masuk kedalam perairan dapat terakumulasi dalam tubuh binatang. Bivalvia digunakan sebagai organism uji kadar logam berat dikarenakan bersifat *filter feeder* dan *sedentary*. Tiram *Crassostrea iredalei* memiliki kadar logam berat Hg, Cd, dan Pb yang berbeda-beda tiap stasiun, sebagaimana ditunjukkan melalui grafik pada Gambar 12 berikut :



**Gambar 12. Kadar Pb, Cd, Hg pada insang *Crassostrea iredalei***

Tiram *Crassostrea iredalei* yang diambil dari Kawasan Mangrove mengakumulasi logam berat Pb 0,86 mg/l, Cd 0,13 mg/l, dan Hg 0,10 mg/l, sementara tiram pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan mengakumulasi logam berat Pb 1,14 mg/l, Cd 0,08 mg/l, dan Hg 0,12 mg/l, dan tiram pada Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap mengakumulasi logam berat Pb 0,76 mg/l, Cd 0,18 mg/l, dan Hg 0,07 mg/l. Menurut SNI (2009) dalam Mugilaksana (2013), batas maksimum cemaran logam berat dalam bahan pangan, untuk Hg

adalah 0,5 mg/l, Cd 0,03 mg/l, dan Pb 0,5 mg/l. Sehingga dapat dikatakan bahwa logam berat Pb dan Cd pada tiram *Crassostrea iredalei* di perairan Pantai Talang Siring di Kabupaten Pamekasan, Madura ini untuk Pb dan Cd telah melebihi ambang batas. Sementara kadar Hg, baik pada Kawasan Mangrove, 2, maupun 3 masih dibawah ambang batas dan berada pada kisaran yang aman.

Menurut Fitriyah (2007), logam berat yang berada dalam tubuh kerang selain berasal dari air laut juga berasal dari makanan yang selanjutnya mengalami biomagnifikasi. Sebagian besar makanan tiram terdiri dari plankton, detritus, dan mikroorganisme lain. Lebih lanjut menurut Purves (1977) dalam Fitriyah (2007), bahwa fitoplankton sebagai pakan alami tiram juga menyerap logam berat di perairan melalui adsorpsi, umumnya dalam bentuk anorganik. Fitoplankton kemudian di makan oleh tiram dan selanjutnya logam berat akan terakumulasi pada tubuh tiram. Konsentrasi logam berat tersebut akan terus meningkat, sesuai dengan tingkat rantai makanan dalam ekosistem perairan sehingga terjadilah proses biomagnifikasi.

Logam berat Hg yang terakumulasi dalam tubuh tiram *Crassostrea iredalei* berasal dari perairan, dimana merkuri awalnya dalam bentuk ion anorganik ( $Hg^{2+}$ ) kemudian mengalami proses-proses kimia dan biologi hingga masuk dalam rantai pakan dan terakumulasi dalam tubuh tiram. Menurut Hakim *et al.*,(2003), umumnya merkuri masuk ke dalam perairan dalam bentuk  $Hg^{2+}$  kemudian dimanfaatkan oleh bakteri dan diubah menjadi merkuri organik (metal-merkuri dan etil-merkuri) yang terlarut. Di dalam air, metal merkuri akan mudah diserap oleh plankton dan selanjutnya, melalui *food and feeding habit* akan terakumulasi oleh organisme pada tropic level di atasnya, khususnya organisme yang bersifat *filter feeder* seperti tiram *Crassostrea iredalei*.

Kadmium (Cd) yang terkumulasi pada tiram *Crassostrea iredalei* diabsorpsi lewat saluran gastro-intestinal maupun insang. Menurut Darmono (1995), Kadmium dalam air laut berbentuk senyawa klorida  $CdCl_2$ , selanjutnya diserap oleh organisme. Jika organisme tersebut tahan, maka akan terakumulasi dalam jaringannya. Logam tersebut juga akan berkaitan dengan protein sehingga disebut metallothionein yang bersifat semi permanen dengan waktu paruh cukup lama.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tiram yang diambil dari ketiga stasiun lebih banyak mengakumulasi logam berat Pb dibandingkan Hg dan Cd. Hasil penelitian Mugilaksani (2013) juga menunjukkan hasil yang serupa dimana tiram *Crassostrea iredalei* lebih banyak mengakumulasi logam berat Pb (1,07 ppm), dibandingkan Hg (0,08 ppm) dan Cd (0,57 ppm). Apriadi (2005) dengan hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kerang jenis *perna viridis* mengakumulasi Pb antara 12,13-13,65 mg/l sementara Hg antara 0,0035-0,0078 mg/l. Hal tersebut menunjukkan tingkat bioakumulasi tiram terhadap Pb cukup tinggi. Menurut Wulandari (2010), faktor akumulasi logam berat pada biota laut relative berbeda, yang disebabkan oleh perbedaan sifat-sifat biologis seperti umur dan fisiologis, juga disebabkan oleh sifat fisika dan kimia serta aktivitas manusia yang terdapat disekitar lokasi. Logam berat Pb masuk kedalam tiram melalui aktivitas penapasan maupun makan yang selanjutnya terakumulasi pada lambung, otot, dan bagian tubuh lainnya.

Hasil penelitian Dianti (2007) terkait kandungan Pb pada kerang *Mytilus viridis* di perairan Ngimboh Ujungpangkah menunjukkan bahwa kandungan logam berat belum melebihi ambang batas. Bioakumulasi logam berat oleh tiram *Crassostrea* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, jenis logam berat, jenis organisme, serta lama organisme tersebut terpapar logam berat yang terdapat di perairan. Menurut Waldichuk (1974) dalam Hutagalung (1984), faktor konsentrasi

(kemampuan organisme dalam mengakumulasi logam berat) didefinisikan sebagai perbandingan antara kadar logam berat dalam organisme dan dalam airnya, dimana faktor konsentrasi ini tergantung pada jenis logam berat, jenis organisme, lama pemaparan, serta kondisi fisika dan kimia perairan.

Bila dibandingkan, tiram *Crassostrea iredalei* pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan mengakumulasi kadar logam berat Pb dan Hg lebih tinggi dibandingkan pada Kawasan Mangrove dan 3 sedangkan tingkat akumulasi Cd justru lebih rendah Kawasan Pariwisata dan Perkapalan dibanding Kawasan Mangrove dan 3. Diduga hal tersebut terkait dengan *growth-dilution* yang sebelumnya telah diteliti oleh Bat dan Oztork (1999); Aunurrohim (2006); dan Cheney (2007). Menurut Abdulgani *et al.*, (2008), fenomena *growth-dilution* akumulasi logam memang sering ditemukan pada penelitian yang berkaitan dengan bivalvia, terjadinya *growth-dilution* disebabkan melalui *food and feeding habit* bivalvia itu sendiri, dimana mekanisme *filter-feeder*, aliran laut akan berlanjut menuju ke labial palp dan melalui beberapa proses penyaringan dengan cilia. Selain itu, *growth-dilution* juga disebabkan oleh faktor kejenuhan. Menurut hasil penelitian Cheney (2007), tiram *Crassostrea* sp. Yang dibudidayakan di teluk Willapa mengakumulasi cadmium lebih banyak pada masa pertumbuhan tahun pertama dan kedua dalam siklus hidupnya. Sementara tahun ketiga dan keempat justru mengalami penurunan. Hal ini diduga karena adanya tingkat kejenuhan organisme tersebut dalam mengakumulasi cadmium. Sedangkan menurut Overnell dan Sparla (1990) dalam Abdulgani *et al.*, (2008), kadar logam berat dapat juga mengalami penurunan seiring dengan pertumbuhan tiram. Selain karena banyak logam yang telah terikat menjadi metallothionein, mucus insang pada saat mengalami regenerasi sekaligus akan melepas logam berat yang terdapat pada tubuhnya. Dalam penelitian ini, fenomena *growth-dilution* hanya tampak pada logam berat Pb saja.

Menurut Palar (1994), keberadaan logam-logam (termasuk logam berat) dalam badan perairan dapat berasal dari sumber alamiah (pengikisan dari batu mineral di sekitar perairan, difusi dari udara yang terbawa air hujan) dan dari aktivitas manusia (buangan sisa industri maupun limbah domestik). Carpene *et al.* (2007), mengatakan moluska laut dapat mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya lebih tinggi dari konsentrasi logam berat dalam air laut. Oleh karena itu, moluska telah banyak digunakan sebagai indikator pencemaran logam dalam ekosistem laut. Menurut Suaniti (2007), logam berat diserap oleh tubuh hewan perairan kebanyakan dalam bentuk ion. Penyerapan tersebut dalam bentuk ion, melalui insang dan saluran pencernaan.

Berdasarkan hasil penelitian, kadar logam berat (Pb, Cd dan Hg) di tiram lebih tinggi daripada kadar logam berat di air. Hal ini diduga dipengaruhi oleh sifat dari tiram yang filter feeder, hidupnya menetap dan pergerakan yang sangat lambat sehingga dapat mengakumulasi polutan (logam berat) di daerah tertentu dalam jangka waktu yang lama, serta adanya logam berat dalam perairan.

Apriadi (2005) menyatakan organisme air sangat dipengaruhi oleh keberadaan logam berat di dalam air, terutama pada konsentrasi yang melebihi batas normal. Organisme air mengambil logam berat dari badan air atau sedimen dan memekatkannya ke dalam tubuh hingga 100-1000 kali lebih besar dari lingkungan. Akumulasi melalui proses ini disebut bioakumulasi. Akumulasi dalam tubuh organisme air dipengaruhi oleh konsentrasi bahan pencemar dalam air, kemampuan akumulasi, sifat organisme (jenis, umur dan ukuran) dan lamanya pernapasan. Menurut Wulandari *et al.* (2012), kandungan Pb dalam tiram relatif lebih tinggi dibandingkan dengan dalam air. Hal ini menunjukkan bahwa Pb yang terdapat dalam air terakumulasi dalam tubuh biota tiram. Faktor akumulasi pada setiap jenis biota laut relatif berbeda, hal ini disebabkan oleh perbedaan sifat-sifat

biologis (jenis, umur dan fisiologis) masing-masing jenis biota, juga disebabkan oleh perbedaan sifat fisik dan kimia serta aktivitas masing-masing lokasi.

Menurut Caspers (1975) dalam Hutagalung dan Razak (1982) yang mengatakan bahwa unsur logam berat yang terdapat dalam air laut akan terakumulasi dalam tubuh organisme perairan. Akumulasi terbesar antara biota yang diamati dijumpai pada kerang bulu, *Anadara antiquata*. Harga ini 9 - 13 kali untuk Pb dan 14 - 18 kali untuk Cd terhadap kadar rata-rata dalam air laut. Tingginya akumulasi dalam kerang bulu ini berhubungan erat dengan sifat hidupnya sebagai binatang dasar yang mengambil makanan dengan cara menyaring air (*filter feeder*).

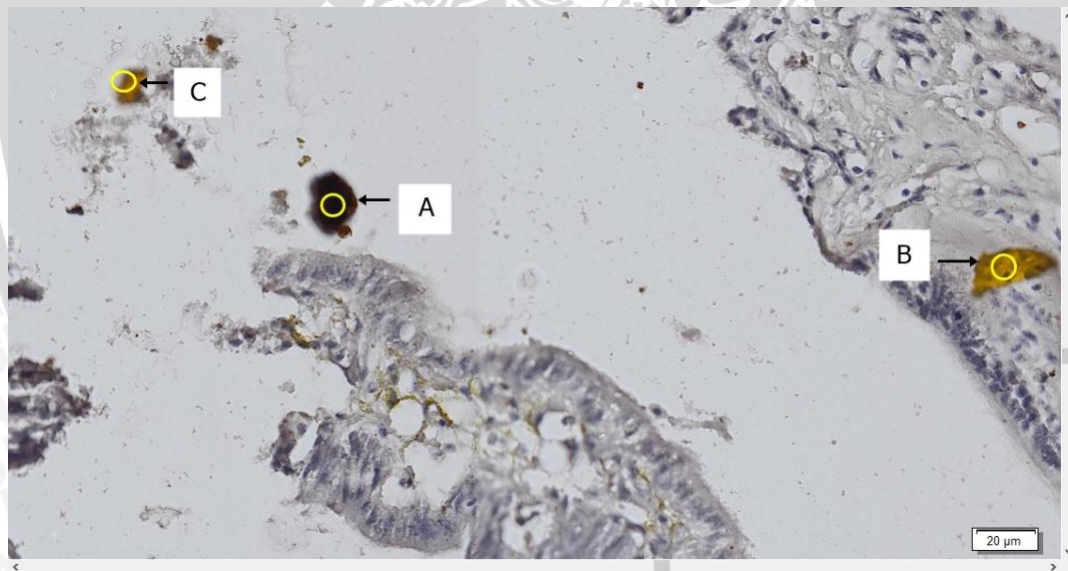
Di samping itu tingginya konsentrasi Pb dalam jaringan tubuh kerang tidak terlepas dari tingginya kandungan Pb di dalam air dan endapannya. Selain melalui sungai, keberadaan logam berat di perairan juga dapat melalui udara, terutama unsur Pb yang digunakan dalam campuran bahan bakar. Meningkatnya laju pembangunan di segala sektor saat ini telah mengakibatkan meningkatnya pencemaran udara melalui emisi kendaraan bermotor (Suaniti, 2007). Pada biota yang tahan terhadap Cd, logam ini diserap oleh biota laut diserap melalui insang dan saluran pencernaan, tertimbun dalam jaringannya, dan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi (Palar, 1994).

#### **4.6 Ekspresi Metallothionein pada Insang Tiram *Crassostrea iredalei* dengan Metode Imunohistokimia**

Ekspresi metallothionein pada insang tiram *Crassostrea iredalei* dengan Teknik Imunohistokimia yang terdapat pada tiga stasiun dengan sumber pencemaran yang berbeda menunjukkan bahwa metallothionein terekspresi pada gambar berupa blok-blok warna cokelat. Menurut Irvan (2007) dalam Hertika *et al.*, (2014), bahwa metode imunohistokimia juga digunakan untuk mendeteksi

atau mengukur kandungan Metallothionein yang diukur dengan memeriksa intensitas warna yang dihasilkan. Intensitas yang dihasilkan akibat reaksi ini dibagi menjadi tiga kelas, yang reaksi positif kuat ditunjukkan dengan warna coklat gelap sampai coklat kehitaman (+ + +), positif sedang ditunjukkan oleh warna dari coklat gelap ke coklat terang (+ +), dan positif lemah yang ditunjukkan oleh coklat pudar dan kemerahan (+).

Hasil penelitian Hertika *et al.*, (2014) menunjukkan bahwa ekspresi metallothionein reaksi positif kuat nilai intensitasnya yaitu 51.999 pixel, reaksi positif sedang sebesar 39.889 pixel dan positif lemah sebesar 12.138 pixel. Semakin tua dan semakin meratanya warna coklat yang terlihat menunjukkan semakin banyak jumlah metallothionein terekspresi maka semakin tinggi pula kadar logam berat. Ekspresi metallothionein dapat dilihat pada Gambar 13.

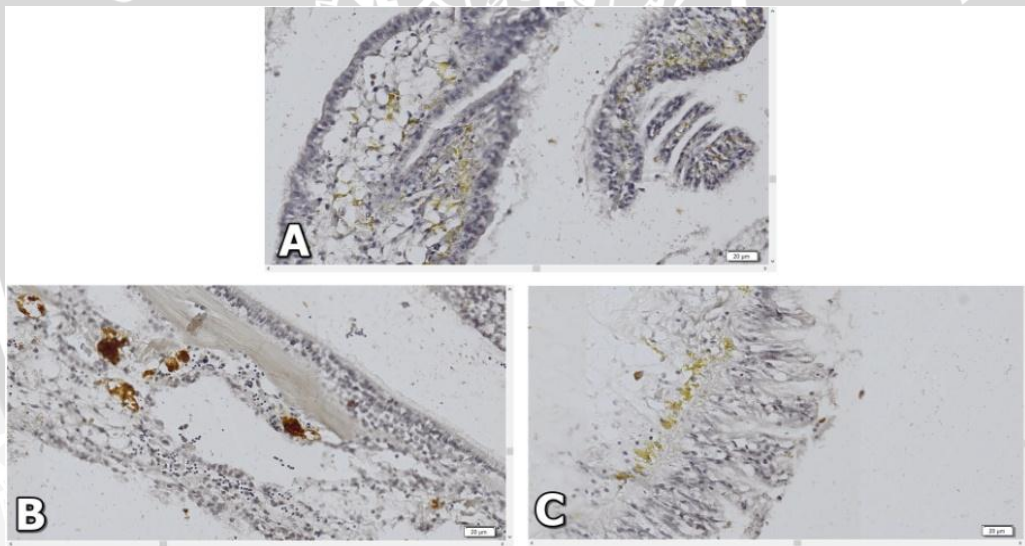


**Gambar 13. Ekspresi Metallothionein skala 20 µm (A) positif kuat (B) positif sedang (C) positif lemah**

Sama halnya seperti kandungan logam berat, metallothionein terlihat muncul dan berwarna coklat tua pada jaringan insang tiram untuk mengikat logam berat yang masuk pada saat tiram menyaring makanan banyak ditemukan



pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan yang merupakan area berlabuhnya kapal setelah mendaratkan hasil tangkapan serta dekat dengan pemukiman penduduk, sedangkan metallothionein yang terlihat sedikit muncul terdapat pada Kawasan Mangrove. Menurut Rumahlatu (2012), Adanya perbedaan morfologi sel yang mengalami ekspresi protein Metallothionein mengindikasikan bahwa logam berat yang terakumulasi pada setiap sel terdapat berbeda-beda tergantung pada jenis dan fungsi organ selnya. Jadi dapat disimpulkan bahwa perbedaan ekspresi yang terdapat pada setiap irisan insang tiram *Crassostrea iredalei* dapat dipengaruhi dari organ yang terdapat pada tiram itu sendiri dan akumulasi dari logam berat. Ekspresi metallothionein pada masing-masing stasiun dapat dilihat pada Gambar 14.



**Gambar 14.** Ekspresi metallothionein pada insang tiram dari (A) Kawasan Mangrove (B) Kawasan Pariwisata dan perkapalan (C) Kawasan Pemukiman dan Bagan tancap

Pada Gambar 14 terlihat perbedaan warna yang terdapat pada irisan insang di tiap stasiun. Proses terbentuknya warna coklat dijelaskan oleh Ramos dan Vara (2005), bahwa prinsip pewarnaan imunohistokimia metode peroksidase, yaitu antigen yang ada pada jaringan diikat dengan antibodi

primer yang spesifik. Lalu antibodi primer yang terikat antigen kemudian diikatkan pula dengan antibodi sekunder (anti antibodi primer) yang telah dilabel enzim peroksidase. Penambahan substrat yang berisi kromogen dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> akan memunculkan endapan berwarna coklat dan H<sub>2</sub>O. Endapan coklat merupakan hasil penguraian substrat (kromogen dan H<sub>2</sub>O) oleh enzim peroksidase. Warna coklat yang muncul menandakan reaksi positif (+), yang artinya didalam jaringan terdapat antigen. Apabila di jaringan tersebut tidak terdapat antigen, maka tidak akan muncul warna coklat.

#### 4.7 Hasil analisis Densitas dan Intensitas Metallothionein pada Insang Tiram *Crassostrea iredalei*

##### 4.7.1 Hasil analisis Densitas Metallothionein pada Insang Tiram

Densitas metallothionein merupakan kuantitas biofisik yang berhubungan langsung dengan penentuan jumlah metallothionein per luas lapang pandang. Hasil perhitungan jumlah metallothionein di sajikan pada **Lampiran 3**. Rata-rata hasil densitas dari ketiga stasiun yaitu Kawasan Mangrove, Kawasan Pariwisata dan Perkapalan, Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap, dimana masing-masing stasiun terdapat tiga plot disajikan pada Tabel 2 berikut ini.

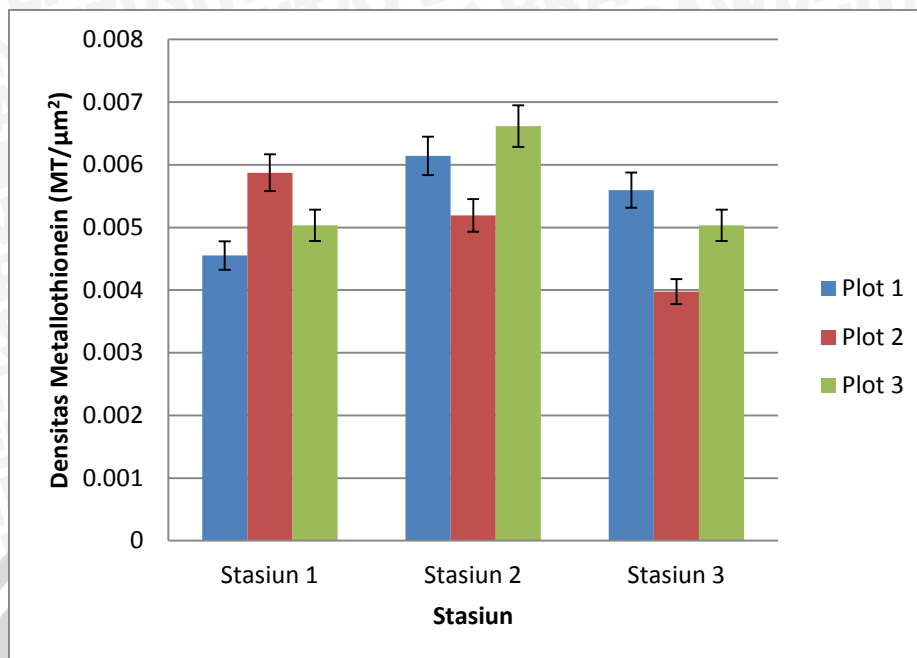
**Tabel 2. Data Hasil Analisis Densitas Metallothionein**

Lapang Pandang	Densitas Metallothionein (MT/ $\mu^2$ )								
	Stasiun Penelitian								
	I			II			III		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0.00427	0.00461	0.00684	0.0041	0.00457	0.00372	0.00544	0.00357	0.00315
2	0.0059	0.00607	0.00412	0.00526	0.00444	0.00767	0.00452	0.00345	0.00628
3	0.00348	0.00693	0.00415	0.00906	0.00656	0.00846	0.00683	0.00491	0.00567
Rata-Rata	0.00455	0.00587	0.00503	0.00614	0.00519	0.00662	0.0056	0.00398	0.00503

Densitas metallothionein tertinggi ditemukan pada Stasiun II yang merupakan daerah berlabuhnya kapal setelah mendaratkan hasil tangkapan

serta daerah pariwisata. Sedangkan densitas terendah pada Kawasan Mangrove yaitu daerah mangrove. Hasil analisis kadar metallothionein pada insang tiram menunjukkan bahwa kadar metallothionein pada insang tiram *Crassostrea iredalei* di Kawasan Mangrove dari ketiga plot berkisar antara  $3,48 \times 10^{-3} \text{ MT}/\mu\text{m}^2$  –  $6,93 \times 10^{-3} \text{ MT}/\mu\text{m}^2$  dan didapat rata-ratanya adalah  $0,0051527 \text{ MT}/\mu\text{m}^2$ . Kadar metallothionein pada insang tiram *Crassostrea iredalei* di Kawasan Pariwisata dan Perkapalan dari ketiga plot berkisar antara  $3,72 \times 10^{-3} \text{ MT}/\mu\text{m}^2$  –  $9,06 \times 10^{-3} \text{ MT}/\mu\text{m}^2$  dan didapat rata-ratanya adalah  $0,005982 \text{ MT}/\mu\text{m}^2$ . Sedangkan kadar metallothionein pada insang tiram *Crassostrea iredalei* di Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap dari ketiga plot berkisar antara  $3,15 \times 10^{-3} \text{ MT}/\mu\text{m}^2$  –  $6,83 \times 10^{-3} \text{ MT}/\mu\text{m}^2$  dan didapatkan rata-ratanya adalah  $0,004869 \text{ MT}/\mu\text{m}^2$ .

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa kadar metallothionein pada insang tiram *Crassostrea iredalei* rata-rata tertinggi terdapat pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan. Kadar metallothionein pada insang tiram di Kawasan Mangrove dan Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap tidak terlalu menunjukkan perbedaan yang signifikan. Tingginya kadar metallothionein pada insang tiram di Kawasan Pariwisata dan Perkapalan karena pada kawasan ini mengandung logam berat yang tertinggi bila dibandingkan dengan kedua stasiun lainnya, sehingga banyak logam berat yang terakumulasi dalam insang tiram yang mempengaruhi tingginya kadar metallothionein pada insang tiram di Kawasan Pariwisata dan Perkapalan.

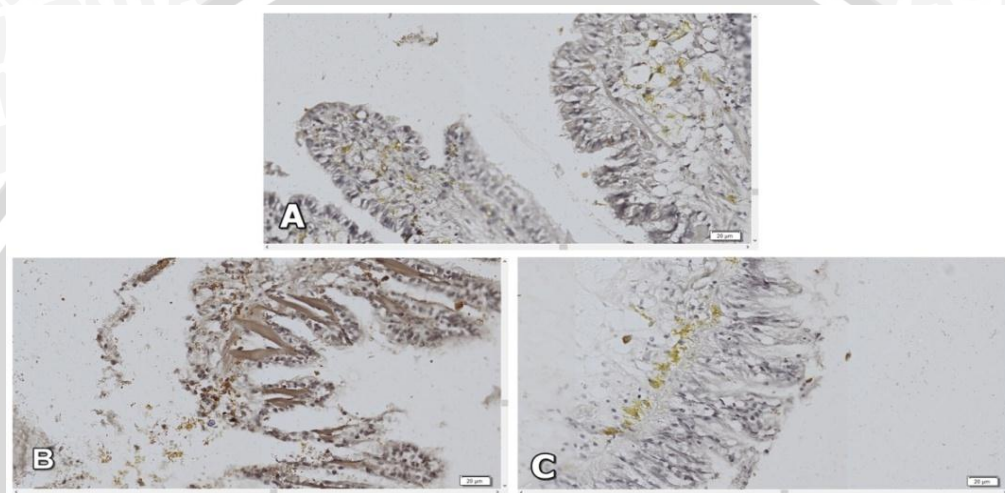


**Gambar 15. Kadar Densitas Metallothionein pada Tiap Stasiun di Tiap Plot**

Hal ini sesuai dengan penelitian Rumahlatu *et al.* (2012) yang melaporkan bahwa semakin banyak logam berat Cd yang terakumulasi dalam komponen tubuh *D. setosum* maka semakin banyak sel yang mengalami ekspresi protein MT-1. Selain itu, perbedaan ukuran tiram juga mempengaruhi kadar metallothionein dimana rata-rata ukuran tiram pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan lebih besar bila dibandingkan dengan Kawasan Mangrove dan Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap. Menurut Amiard *et al.*, (2006), bahwa metallothionein dapat mereduksi ikatan logam non esensial di dalam sel sehingga keterlibatan metallothionein dalam akumulasi logam berat ini dianggap penting dengan menghubungkan induksi metallothionein terhadap toleransi logam berat. Kemudian dijelaskan oleh Quilin dan Mathews (2000), untuk protein dengan berat molekul di bawah 20 kDa kepadatan rata-rata protein tidak konstan seperti yang sering diasumsikan dan ukuran tiram dapat mempengaruhi kadar metallothionein dimana semakin besar ukuran tiram maka kadar metallothionein (MT) juga semakin tinggi.

#### 4.7.2 Hasil analisis Intensitas Metallothionein pada Insang Tiram

Intensitas metallothionein diketahui dengan menggunakan software imageJ pada area 80 dengan lebar 10 dan tinggi 10. Hasil pengamatan intensitas metallothionein pada insang tiram *Crassostrea iredalei* ditunjukkan pada Gambar 17 berikut ini.



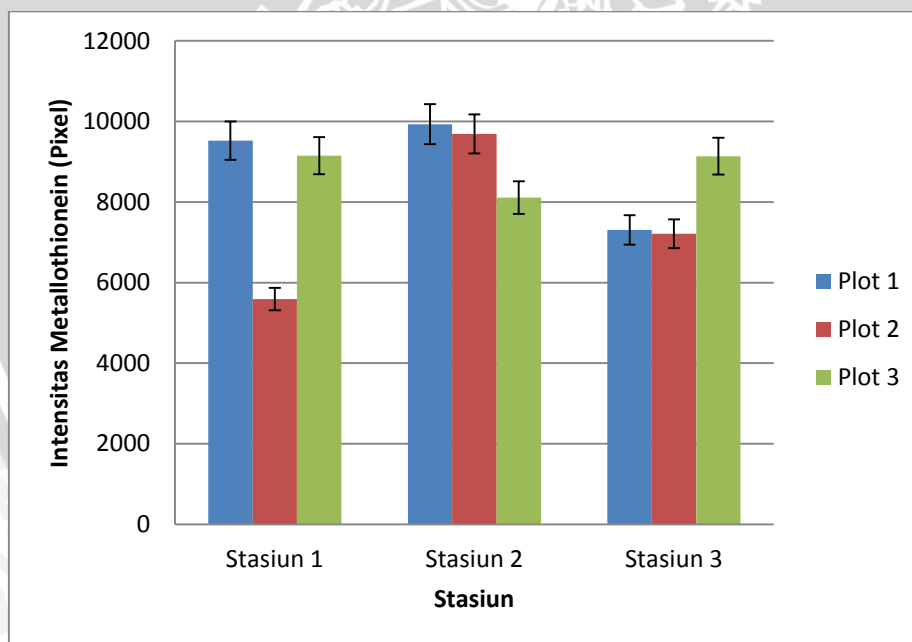
**Gambar 16.** Intensitas metallothionein pada insang tiram dari (A) Kawasan Mangrove (B) Kawasan Pariwisata dan Perkapalan dan (C) Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap

Cara untuk mengetahui nilai intensitas metallothionein pada masing-masing area disajikan pada **Lampiran 3** dan **Lampiran 5**. Sehingga didapatkan hasil rata-rata intensitas metallothionein pada masing-masing lapang pandang yang ditunjukkan pada tabel 3 berikut ini.

**Tabel 3.** Data Hasil Analisis Intensitas Metallothionein

Lapang Pandang	Intensitas Metallothionein (Pixel)								
	Stasiun Penelitian								
	I			II			III		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>1</b>	9300	5519.6	10391.3	9905.8	9386.3	9830.6	7798	9383.7	9201
<b>2</b>	10882.4	7020.7	9116.5	10364.3	9461	6395.6	6033.8	7330	8371.2
<b>3</b>	8402.8	4241.8	7947	9521.2	10221.1	8103.4	8088.2	4925.8	9834.6
<b>Rata-Rata</b>	9528.4	5594.03	9151.6	9930.43	9689.47	8109.87	7306.67	7213.17	9135.6

Seperti halnya dengan hasil analisis densitas metallothionein pada insang tiram, hasil penelitian terhadap intensitas metallothionein menunjukkan bahwa densitas dan intensitas metallothionein memiliki hubungan yang linear. Intensitas metallothionein yang ditemukan tertinggi pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan yang merupakan daerah area berlabuhnya kapal setelah mendaratkan hasil tangkapan serta dekat dengan pemukiman penduduk. Intensitas metallothionein pada Kawasan Mangrove berkisar antara 4241 pixel – 10882 pixel, Kawasan Pariwisata dan Perkapalan berkisar antara 6395 pixel – 10364 pixel dan pada Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap berkisar antara 4925 pixel – 9383 pixel. Intensitas warna metallothionein berbeda-beda pada setiap stasiun tergantung pada tingkat penyerapan logam berat oleh tubuh tiram. Grafik rata-rata intensitas metallothionein dapat dilihat pada Gambar 18.



**Gambar 17. Grafik Rata-Rata Intensitas Metallothionein pada Insang Tiram di Tiap Plot**

Pada grafik rata-rata intensitas metallothionein didapatkan pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan rata-rata intensitas metallothionein pada masing-

masing plot perbedaannya tidak terlalu tinggi, sehingga nilai intensitas metallothionein tinggi. Menurut Amiard *et al.*, (2005), bahwa beberapa peneliti menjelaskan bahwa suatu organisme yang hidup pada daerah yang tercemar logam berat mempunyai konsentrasi metallothionein yang lebih tinggi. Menurut Ringwood *et al.*, (2004) menjelaskan bahwa ada hubungan positif antara metallothionein dan polutan logam berat. Kontaminan logam berat dapat mengakibatkan kerusakan sistemik suatu organisme dan mengakibatkan kelebihan produksi metallothionein.

Satuan pixel untuk intensitas metallothionein dijelaskan oleh Cregger *et al.*, (2006), bahwa pixel merupakan dasar satuan komparasi analisis kuantitatif untuk ekspresi protein dalam penggunaan imunofluorescent untuk mengenali dan sebagai pembeda warna gelap untuk metallothionein. Algoritma ini digunakan untuk mengukur ekspresi daripada marker yang penting melalui seluler dan sub-seluler. Informasi variabel melalui (*AQUA score*) yaitu dapat diketahui melalui intensitas pixel/pixel area dengan nilai yang disesuaikan pada kapasitas suatu gambar sehingga dasar dari rata-rata intensitas dapat diketahui melalui evaluasi dari semua jumlah pixel yang ada pada gambar. Menurut Fazry (2008), citra digital tersusun atas sejumlah tertentu pixel. Setiap pixel pada citra memiliki suatu nilai yang disebut intensitas pixel. Nilai intensitas pixel merupakan nilai yang menentukan derajat dari pixel tersebut.

Pixel adalah elemen terkecil dari sebuah gambar. Satu gambar dapat terdiri dari ribuan bahkan jutaan pixel. Satu pixel tidak mempunyai arti apa-apa karena itu hanyalah satu titik dengan warna tertentu. Satu pixel hanyalah sebuah titik. Sebuah gambar adalah jutaan pixel. Bila terdapat sebuah gambar yang memiliki 3000 x 2000 pixel (3000 pixel kiri ke kanan, 2000 pixel atas ke bawah), maka pada gambar tersebut terdapat total  $3000 \times 2000 = 6.000.000$  pixel. Pada digital photography, terdapat dua sistem untuk menentukan warna apa pada pixel

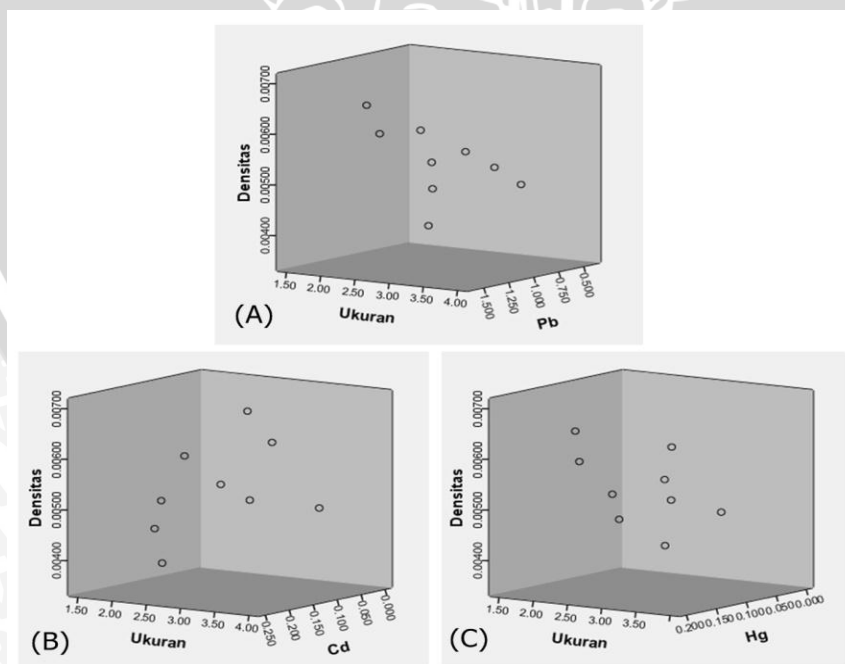
tertentu. Sistem tersebut adalah sistem CMYK yang berarti Cyan Magenta Yellow and Black, serta sistem RGB yang berarti Red Green Blue. CMYK banyak dipakai pada percetakan digital dan imaging. Sedangkan RGB adalah standart de facto pada digital photography dan internet (Krisnadi, 2012).

#### **4.8 Hubungan Ukuran dan kadar logam berat (Pb, Cd, Hg) dengan Metallothionein pada Insang Tiram *Crassostrea iredalei***

Bioakumulasi dalam suatu organisme laut adalah langkah pertama sebelum organisme tersebut menunjukkan responnya terhadap pencemar/kontaminan dalam siklus geokimia. Proses bioakumulasi logam berat secara kimiawi merupakan reaksi pembentukan senyawa kompleks antara logam berat dengan sel-sel organisme yang berfungsi sebagai ligan (Suseno dan Panggabean, 2007). Dalam penelitian ini menggunakan metode Imunohistokimia, menurut Ramos-vara (2005) dalam Hertika *et al.* (2014) menyatakan bahwa Imunohistokimia sering digunakan dalam penelitian fundamental untuk mengakui distribusi dan lokasi biomarker atau protein yang dinyatakan dalam berbagai jaringan tubuh. Secara teoritis, semakin besar ukuran tiram, maka semakin tinggi kadar logam berat yang terakumulasi dalam tubuh tiram yang nantinya akan mempengaruhi produksi kadar metallothionein dalam tiram *C. cucullata*, dimana dalam hal ini terjadi hubungan yang positif. Namun beberapa hasil penelitian di lapang juga menyebutkan hubungan antara ukuran, daya akumulasi logam berat dan sintesis MT tidak selalu berkorelasi positif. Hal ini dipengaruhi berbagai faktor antara lain usia, kejenuhan produksi MT, denaturasi maupun degradasi MT. Dalam penelitian ini dilakukan analisa regresi untuk mengetahui hubungan antara ukuran tiram bebas/independen (X1) logam berat (Pb, Cd dan Hg) sebagai variabel bebas/independen (X2) dengan kadar metallothionein sebagai variabel terikat/dependen (Y).



Menurut Greene (2003) dalam bukunya menjelaskan bahwa ada lebih dari satu cara untuk merumuskan pembatasan dalam model regresi. Salah satu cara yang mudah untuk parameterisasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan standar uji statistik yang dihasilkan oleh regresi dengan perhitungan lebih lanjut untuk menguji hipotesis dalam penelitian ini menggunakan  $Y = a+b_1x_1+b_2x_2$ . Analisis regresi dilakukan untuk menentukan parameter yang paling penting dalam mengendalikan konsentrasi MT antara faktor alam (salinitas, jenis kelamin, musim, konsentrasi total protein) dan kontaminasi (Amiard *et al.*, 2006). Ross *et al.* (2002) dalam Amiard *et al.* (2006) juga mengatakan hubungan antara kadar logam berat pada bivalvia dengan kadar metallothionein dapat dijelaskan melalui analisis regresi. Kadar metallothionein cenderung semakin meningkat seiring meningkatnya kadar logam berat yang terakumulasi dalam tubuh bivalvia tersebut. Berdasarkan hasil analisis regresi, maka diperoleh hasil penelitian pada Gambar 18 dan 19 berikut ini:

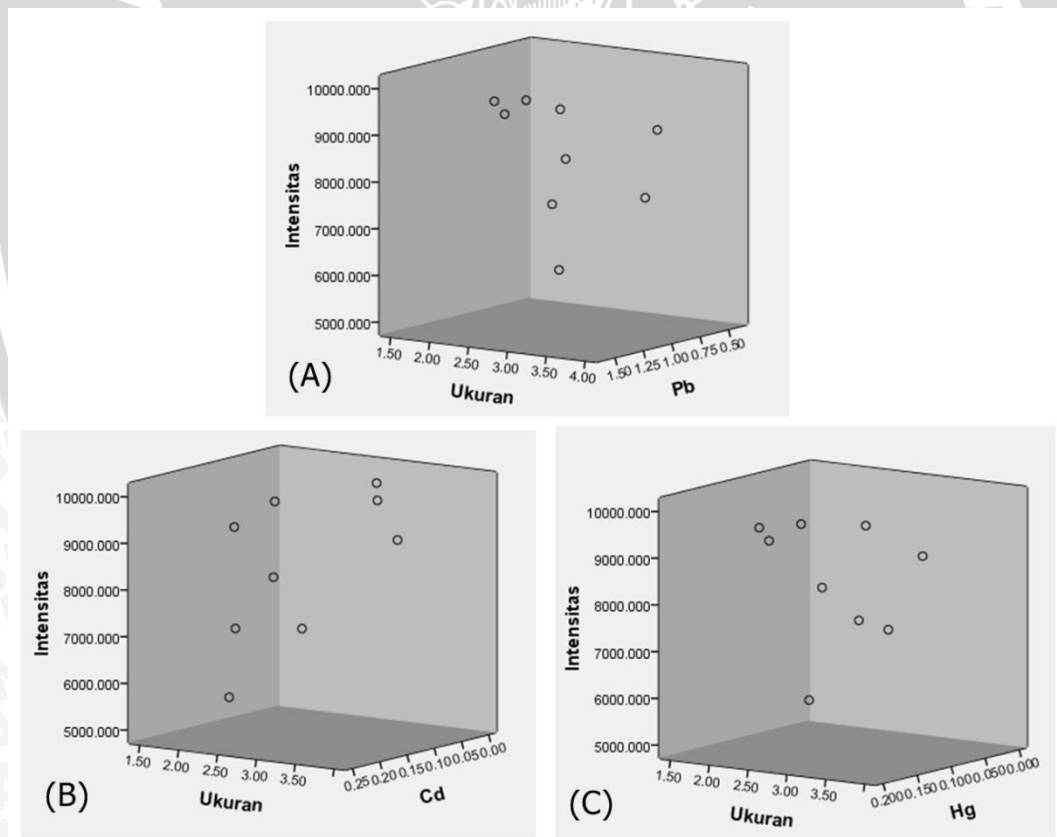


**Gambar 18. Grafik Hubungan Ukuran Tiram dan Logam Berat Pb (a), Cd (b) dan Hg (c) dengan Densitas MT di Insang *Crassostrea iredalei***

**Tabel 4. Data Hasil Analisis Hubungan Densitas Metallothionein**

Logam Berat	R	R <sup>2</sup>	Penyesuaian R <sup>2</sup>	Perkiraan kesalahan Std.
Pb	0,802	0,642	0,523	0,00056231
Cd	0,803	0,645	0,526	0,00056043
Hg	0,842	0,710	0,613	0,00050682

Berdasarkan hasil analisis regresi yang ditunjukkan pada Gambar 18 (a), koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) antara ukuran tiram dan kadar logam berat Pb dengan Densitas MT di insang *Crassostrea iredalei* sebesar 0,642 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,802 dan hubungan fungsional sebesar 64,2%. Berdasarkan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,802, maka hubungan ukuran tiram dan kadar logam berat Pb dengan Densitas MT di insang *Crassostrea iredalei* pada penelitian ini tergolong sangat kuat.



**Gambar 19. Grafik hubungan ukuran tiram dan logam berat Pb (a), Cd (b) dan Hg (c) dengan Intensitas MT di insang *Crassostrea iredalei***

**Tabel 5. Data hasil analisis hubungan Intensitas Metallothionein**

Logam Berat	R	R <sup>2</sup>	Penyesuaian R <sup>2</sup>	Perkiraan kesalahan Std.
Pb	0,866	0,749	0,665	841,77667
Cd	0,825	0,680	0,574	950,36074
Hg	0,813	0,661	0,549	977,78699

Begitu juga dengan hasil analisis regresi yang ditunjukkan pada Gambar 19 (a), koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) antara ukuran tiram dan kadar logam berat Pb dengan Intensitas MT di insang *Crassostrea iredalei* sebesar 0,749 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,866 dan hubungan fungsional sebesar 74,9%. Berdasarkan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,866, maka hubungan ukuran tiram dan kadar logam berat Pb dengan Intensitas MT di insang *Crassostrea iredalei* pada penelitian ini tergolong sangat kuat.

Hasil penelitian Herista (2013), koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) antara kadar logam berat Pb dengan MT di insang *C. cucullata* sebesar 0,793 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,89 dan hubungan fungsional sebesar 79,3%. Sedangkan hasil penelitian Mubin (2014), koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) antara kadar logam berat Pb dengan MT pada *C. iredalei* sebesar 0,4542 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,6739 dan hubungan fungsional sebesar 45,42%. Menurut Walpole (1995), koefisien korelasi tergolong sangat kuat apabila bernilai antara 0,80-1,00. Hasil analisis ini juga menjelaskan ukuran tiram dan kadar logam berat Pb dapat mempengaruhi kadar MT di insang *Crassostrea iredalei* sebesar 64,2%.

Proses masuknya Pb ke dalam tubuh dapat melalui makanan dan minuman, udara dan perembesan atau penetrasi pada selaput atau lapisan kulit (Palar, 1995). Ringwood at al. (2004) dalam Acker et al. (2005) juga menambahkan proses masuknya logam berat Pb ke dalam tubuh organisme terutama melalui proses food and feeding habit sehingga konsentrasi di dalam tubuhnya semakin meningkat karena proses akumulasi. Agar organisme tersebut

mampu bertahan hidup, maka respon fisiologis organisme tersebut adalah mensintesis metallothionein (MT) sebagai fungsi metal homeostasis, yaitu untuk menjaga keseimbangan logam berat terhadap metabolisme dalam tubuhnya.

Semakin tinggi kadar logam Pb dalam tubuh, maka semakin tinggi pula produksi MT dalam tubuh tiram. Namun tidak selamanya produksi MT dalam tubuh tiram selalu berkorelasi positif terhadap tingginya kadar logam berat yang terakumulasi dalam tubuh tiram. Dalam penelitian ini juga terjadi demikian, dimana produksi MT mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kadar Pb dalam tubuh. Hal ini diduga karena adanya beberapa faktor lingkungan yang menyebabkan terjadinya denaturasi pada protein dalam tubuh tiram. Hal ini dijelaskan oleh Suaniti (2007), penurunan konsentrasi Pb dan Cu ini dapat disebabkan karena lepasnya ikatan kompleks logam protein, sehingga ion-ion logam tersebut keluar dari dalam daging kerang. Ion logam secara alamiah terdapat di dalam tubuh dan hampir semuanya berikatan dengan protein. Metal protein adalah protein yang berikatan dengan logam dalam tubuh dan ion logamnya sendiri mudah saling bertukar dengan protein yang lain. Kondisi larutan dengan pH rendah (asam) dapat menyebabkan ikatan logam dengan protein yang tidak stabil melemah, akibat terjadi denaturasi sehingga mudah putus. Menurut Fessenden & Fessenden (1995) dalam Murtini *et al.* (2008), denaturasi dapat bersifat *reversible* jika suatu protein hanya dikenai kondisi denaturasi seperti perubahan pH asam yang tidak besar. Proses kembalinya protein memperoleh struktur lebih tinggi secara alamiahnya disebut dengan renaturasi.

Berdasarkan hasil analisis regresi yang ditunjukkan pada Gambar 18 (b), koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara ukuran tiram dan kadar logam berat Cd dengan Densitas MT di insang *Crassostrea iredalei* sebesar 0,645 dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,803 dan hubungan fungsional sebesar 64,5%. Berdasarkan

nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,803, maka hubungan kadar logam berat Cd dengan Densitas MT di insang *Crassostrea iredalei* pada penelitian ini tergolong sangat kuat. Begitu pula dengan hasil analisis yang ditunjukkan pada Gambar 19 (b), koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara ukuran tiram dan kadar logam berat Cd dengan Intensitas MT di insang *Crassostrea iredalei* sebesar 0,663 dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,813 dan hubungan fungsional sebesar 66,3%. Berdasarkan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,813, maka hubungan kadar logam berat Cd dengan Intensitas MT di insang *Crassostrea iredalei* pada penelitian ini tergolong sangat kuat. Menurut Walpole (1995), koefisien korelasi tergolong sangat kuat apabila bernilai antara 0,80-1,00. Hasil analisis ini juga menjelaskan ukuran tiram dan kadar logam berat Cd dapat mempengaruhi kadar MT di insang *Crassostrea iredalei* sebesar 64,5%.

Logam Cd akan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam tubuh organisme hidup. Logam ini masuk ke dalam tubuh melalui makanan yang sudah terkontaminasi logam Cd dan atau persenyawaannya. Dalam tubuh biota perairan, jumlah logam Cd akan terus meningkat karena adanya proses biomagnifikasi di badan perairan (Palar, 1995). Asal dari logam Cd di perairan sendiri diduga dari limbah plastik, cat pada perahu nelayan dan tumpahan solar di laut. Hal ini seperti yang dikatakan Hutagalung dan Razak (1982) dalam Azhar *et al.* (2012), bahwa kadmium di alam biasanya berasal dari limbah industri logam, plastik, cat, pupuk dan minyak. Selain itu Friberg dan Elinder (1992) dalam Azhar *et al.* (2012), mengatakan debu atmosfer memberikan kontribusi masuknya Cd ke perairan. Dijelaskan oleh Carpene *et al.*, 2007; Ogra *et al.*, 2008; Pearce *et al.*, 1999 bahwa protein MT diketahui memiliki 2 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 organism. Karena itu,

MT bukan hanya mengikat jumlah logam di dalam sebuah sel, tapi juga mengembalikan kemampuan fungsi protein yang tidak aktif akibat logam kadmium. Palar (1995) menambahkan daya racun yang dibawa oleh Cd dalam tubuh akan dapat dikurangi karena dalam tubuh logam ini membentuk senyawa kompleks khelat dengan metallothionein yang sudah dimiliki oleh tubuh.

Hasil penelitian Leung dan Furness (1999), menunjukkan konsentrasi MT dan Cd menurun seiring meningkatnya ukuran *L. littorea*. Korelasi negatif ini terjadi karena tingkat pertumbuhan dan metabolisme hewan yang kecil relatif lebih tinggi daripada yang besar, dan pengaruh *tissue dilution* karena meningkatnya berat badan. Oleh karena itu, ukuran mempengaruhi daya akumulasi logam dan produksi MT, dimana sifat MT tergantung pada ukuran yang dapat berhubungan langsung dengan Cd konsentrasi di *L. Littorea*. Hal serupa juga disampaikan Geffard *et al.* (2001) dimana jenis kelamin dan ukuran hewan mempengaruhi tingkat MT secara alami pada populasi kerang (*R. decussatus*). Sementara menurut Stillman *et al.* (1987), kadmium, seng, dan tembaga biasanya berhubungan dengan metallothionein MT, berbagai logam lain juga mengikat protein, antara lain adalah merkuri dan lain-lain. Tidak semua logam ini merangsang biosintesis protein. Dalam beberapa kasus, biosintesis diinduksi, namun protein hanya mengikat seng atau tembaga.

Berdasarkan hasil analisis regresi yang ditunjukkan pada Gambar 18 (c), koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara ukuran tiram dan kadar logam berat Hg dengan Densitas MT di insang *Crassostrea iredalei* sebesar 0,710 dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,842 dan hubungan fungsional sebesar 71%. Berdasarkan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,842, maka hubungan kadar logam berat Hg dengan Densitas MT di insang *Crassostrea iredalei* pada penelitian ini tergolong sangat kuat. Begitu pula dengan hasil analisis yang ditunjukkan pada Gambar 19 (c), koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara ukuran tiram dan kadar logam berat Hg

dengan Intensitas MT di insang *Crassostrea iredalei* sebesar 0,680 dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,825 dan hubungan fungsional sebesar 68%. Berdasarkan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,825, maka hubungan kadar logam berat Hg dengan Intensitas MT di insang *Crassostrea iredalei* pada penelitian ini tergolong sangat kuat. Menurut Walpole (1995), koefisien korelasi tergolong sangat kuat apabila bernilai antara 0,80-1,00. Hasil analisis ini juga menjelaskan ukuran tiram dan kadar logam berat Cd dapat mempengaruhi kadar MT di insang *Crassostrea iredalei* sebesar 64,5%.

Hasil penelitian Herista (2013) menunjukkan, koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara kadar logam berat Cd dengan MT di insang *C. cucullata* sebesar 0,7987 dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,8937 dan hubungan fungsional sebesar 79,87%. Sedangkan hasil penelitian Mubin (2014), koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara kadar logam berat Cd dengan MT pada *C. iredalei* sebesar 0,9408 dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,9699 dan hubungan fungsional sebesar 94,08%.

Menurut Geffart *et al.* (2007), mengatakan bahwa umumnya peran utama metallothionein adalah homeostasis logam esensial seperti Cu dan Zn, namun protein ini juga terlibat dalam detoksifikasi logam non-esensial seperti Ag, Cd dan Hg. Jadi bisa dikatakan bahwa logam berat Hg ini juga berpengaruh pada Metallothionein yang terdapat di insang *Crassostrea iredalei*.

#### 4.9 Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air yang diamati pada penelitian ini meliputi suhu, derajat keasaman (pH/*potensial Hydrogen*), salinitas, oksigen terlarut (DO/*Dissolved Oxygen*), dan bahan organik total (TOM/*Total Organic Matter*). Hasil pengamatan kualitas air dapat dilihat pada tabel 4 berikut:

**Tabel 6. Tabel Hasil Pengamatan Kualitas Air**

Stasiun	Data Kualitas Air				
	Suhu (°C)	pH	Salinitas (ppt)	DO (mg/L)	TOM (mg/L)
1	34	9	27	6.9	31.6
2	35	9	27	7.2	30.33
3	35	9	27	7.6	29.07

#### 4.9.1 Suhu

Berdasarkan hasil analisis kualitas air, suhu perairan pantai Talang Siring berkisar antara 34 °C – 35°C. Pada Kawasan Mangrove diperoleh nilai suhu sebesar 34°C, pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan dan 3 diperoleh nilai suhu yang sama yaitu 35°C. Nilai suhu tertinggi terdapat pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan dan 3 yaitu sebesar 35°C, hal ini dikarenakan waktu pengukuran suhu di Kawasan Mangrove dilakukan pada saat tengah hari sehingga intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan tinggi. Nilai suhu terendah terdapat pada Kawasan Mangrove yaitu sebesar 34°C, hal ini disebabkan karena cuaca pada saat pengukuran suhu di Kawasan Mangrove tidak terlalu terik bila dibandingkan dengan Kawasan Pariwisata dan Perkapalan dan 3, selain itu Kawasan Mangrove merupakan kawasan mangrove sehingga terdapat naungan yang berasal dari pohon mangrove. Menurut Subarijanti (1994), suhu perairan dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang masuk kedalam air. Suhu selain berpengaruh terhadap berat jenis, viskositas dan densitas air, juga berpengaruh terhadap kelarutan gas dan unsur-unsur dalam air.

Menurut Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004, kisaran suhu yang aman untuk kehidupan biota laut berkisar antara 28 - 30°C. Peningkatan suhu sebesar 1°C akan meningkatkan konsumsi oksigen sekitar 10% (Effendi, 2003). Kenaikan suhu 2°C diatas suhu rata-rata dapat



menimbulkan pengaruh sub lethal dan beberapa kematian, sedangkan kenaikan 4 - 6°C akan menimbulkan kehancuran pada komunitas alami (Zieman dan Ferguson, 1975 *dalam* Supriyadi, 2002). Kisaran suhu yang mampu ditoleransi suhu biota laut yaitu berkisar 20 - 35°C (Rahman,2006). Seperti yang telah dijelaskan di atas, suhu pada perairan pantai Talang Siring berkisar antara 34 – 35°C dan termasuk dalam kisaran suhu yang tinggi namun masih dapat ditoleransi tiram untuk kelangsungan hidupnya.

Selain berpengaruh langsung terhadap organisme, suhu juga berpengaruh terhadap kadar logam berat di perairan. Apriadi (2005) menyebutkan bahwa peningkatan suhu dapat menyebabkan penurunan daya larut oksigen terlarut dan juga akan menaikkan daya racun bahan-bahan tertentu khususnya logam berat. Suhu air terutama di lapisan permukaan ditentukan oleh pemanasan matahari yang intensitasnya berubah terhadap waktu, oleh karena itu suhu air laut akan seirama dengan perubahan intensitas penyinaran matahari. Menurut Waldichuk (1974) *dalam* Hutagalung (1984), kenaikan suhu perairan akan menyebabkan tingkat bio-akumulasi semakin besar.

#### **4.9.2 Derajat Keasaman (pH)**

Berdasarkan hasil analisis kualitas air, diperoleh nilai pH pada perairan pantai Talang Siring di ketiga stasiun yaitu sebesar 9. Berdasarkan hasil tersebut, pH pada perairan pantai Talang Siring masih dapat ditoleransi untuk mendukung kehidupan biota laut. Menurut Kepmen LH No. 51 Tahun 2004, pH yang aman untuk kehidupan biota laut berkisar antara 7 – 8,5.

Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH sekitar 7 – 8,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan, selain itu pH rendah juga akan meningkatkan toksisitas logam di perairan (Effendi, 2003). Adanya masukan bahan organik yang tinggi ke

perairan akan menurunkan pH yang disebabkan penguraian bahan organik tersebut menghasilkan CO<sub>2</sub> (Sastrawijaya, 1991).

Nilai pH pada perairan pantai Talang Siring tergolong basa atau sesuai dengan pH alami air laut. Hutagalung (1984) menyatakan bahwa kesadahan yang tinggi dapat mengurangi toksisitas logam berat, karena dengan kesadahan yang tinggi logam berat dalam air akan membentuk senyawa kompleks yang mengendap dalam perairan. Namun sebaliknya, pada pH perairan yang rendah menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar. Menurut Hogarth (1999) dalam Hamzah dan Pancawati (2013), penurunan pH dan kenaikan suhu juga akan mengurangi adsorpsi senyawa logam berat kedalam bentuk partikulat. Pada pH tinggi dan suhu yang rendah akan meningkatkan adsorpsi logam berat kedalam bentuk partikulat untuk mengendap di dasar laut. Sementara itu saat suhu naik dan pH perairan rendah, akan terjadi penurunan laju adsorpsi kedalam bentuk partikulat sehingga senyawa logam berat akan larut dan ion bebas logam berat dilepaskan kedalam kolom air dan akan meningkatkan toksisitas logam berat.

#### 4.9.3 Salinitas

Berdasarkan hasil analisis kualitas air, diperoleh nilai salinitas pada perairan pantai Talang Siring di ketiga stasiun yaitu sebesar 27 ppt. Jika dilihat dari hasil pengamatan, nilai salinitas dari ketiga stasiun sama, hal ini disebabkan karena ketiga stasiun pengambilan sampel masih berada pada satu garis pantai yang sama. Nilai salinitas di perairan pantai Talang Siring ini tergolong rendah, hal ini dikarenakan pengukuran salinitas di ketiga stasiun dilakukan pada daerah yang masih dekat dengan daratan sehingga pengaruh salinitas dari lautan lepas akan rendah. Menurut Kordi (2005), salinitas pada perairan pantai biasanya rendah, hal ini terjadi karena terjadinya pengenceran oleh aliran sungai.

Sebaliknya di daerah penangkapan, nilai salinitas biasanya sangat tinggi dikarenakan besarnya pengaruh salinitas dari lautan lepas.

Seperti yang telah dijelaskan di atas, salinitas pada perairan pantai Talang Siring di ketiga stasiun sebesar 27 ppt dan termasuk dalam nilai salinitas yang dapat mendukung kehidupan biota di dalamnya. Hal ini sesuai dengan penelitian Wong *et al.* (1991) dalam Idris (2006) yang melaporkan bahwa larva dan tiram dewasa *C. iredalei* dapat ditemukan di daerah yang memiliki kisaran salinitas 5 – 33 ppt. Selain itu menurut Kepmen LH No.51/2004, nilai salinitas yang baik untuk mendukung kehidupan biota laut adalah  $\leq 34$ . Sundari (2002) menyatakan bahwa kisaran salinitas yang mendukung kehidupan bivalvia pada suatu perairan berkisar antara 30 – 35 ppt.

Selain berpengaruh terhadap biota perairan, salinitas juga berpengaruh terhadap logam berat di suatu perairan. Mance (1987) dalam Wulandari *et al.* (2009) menyatakan bahwa salinitas yang tinggi menyebabkan peningkatan pembentukan ion klorida, yang berakibat pada penurunan konsentrasi ion logam berat pada perairan karena bereaksinya ion logam tersebut dengan ion klorida.

#### **4.9.4 Oksigen Terlarut (DO/Dissolved Oxygen)**

Berdasarkan hasil analisis kualitas air, nilai oksigen terlarut (DO/Dissolved Oxygen) perairan pantai Talang Siring berkisar antara 6,9 – 7,6 mg/L. Nilai DO pada stasiun 1 sebesar 6,9 mg/L, pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan sebesar 7,2 mg/L dan pada Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap sebesar 7,6 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai DO tertinggi terdapat pada Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap, hal ini disebabkan karena letak Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap berada di sekitar pemukiman penduduk yang dekat dengan tembok pemecah

ombak/gelombang sehingga pergerakan massa air/arus lebih tinggi, hal itulah yang menyebabkan difusi oksigen dari udara ke kolom perairan pada Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap lebih besar dibandingkan dengan kedua stasiun lainnya. Sedangkan nilai DO terendah terdapat pada Kawasan Mangrove, hal ini disebabkan karena letak Kawasan Mangrove berada di kawasan mangrove yang memiliki pergerakan massa air tidak terlalu besar, selain itu kawasan mangrove memiliki kandungan bahan organik cukup tinggi yang berasal dari seresah daun mangrove yang telah mengendap di dasar perairan, sehingga oksigen terlarut di kawasan ini banyak digunakan oleh bakteri untuk mendekomposisikan bahan-bahan organik tersebut. Salmin (2005) mengatakan bahwa sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut. Menurut Effendi (2003), dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan anorganik dapat mengurangi kadar oksigen terlarut di perairan hingga mencapai nol (anaerob).

Berdasarkan hasil analisis oksigen terlarut (*DO/Dissolved Oxygen*), dapat disimpulkan bahwa kisaran konsentrasi oksigen terlarut di perairan pantai Talang Siring sebesar 6,9 – 7,6 mg/L berada pada kondisi optimal untuk mendukung kehidupan biota laut, hal ini sesuai dengan Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 yang menyebutkan bahwa baku mutu oksigen terlarut untuk kehidupan biota laut yaitu diatas 5 mg/L. Selain berpengaruh terhadap biota perairan, oksigen terlarut juga berpengaruh terhadap toksisitas suatu logam berat di perairan. Menurut Effendi (2003), dengan meningkatnya kadar oksigen terlarut dan kesadahan akan mengurangi toksisitas timbal (Pb) terhadap organisme akuatik.

#### **4.9.5 Bahan Organik Total (TOM/Total Organic Matter)**

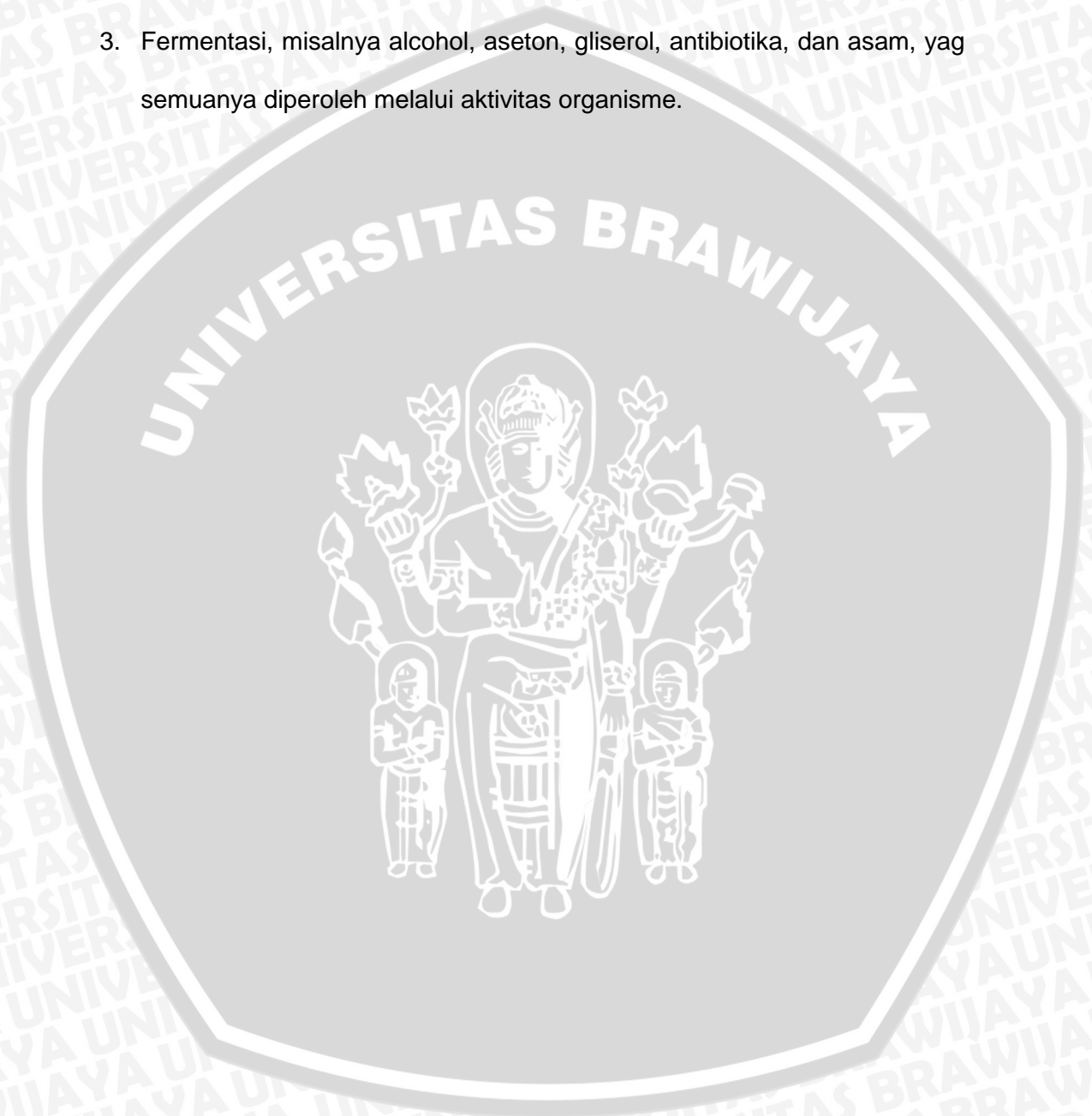
Bahan organik Total (TOM) merupakan keseluruhan bahan organik yang belum atau akan mengalami proses dekomposisi. Bahan organik merupakan

sumber makanan bagi biota laut khususnya tiram. Berdasarkan hasil analisis kualitas air, nilai bahan organik total (TOM/*Total Organic Matter*) perairan pantai Talang Siring berkisar antara 29,07 – 31,6 mg/L. Nilai TOM pada stasiun 1 sebesar 31,6 mg/L, pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan sebesar 30,33 mg/L dan pada Kawasan Pemukiman dan Bagan Tancap sebesar 29,07 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai TOM tertinggi terdapat pada Kawasan Mangrove, hal ini disebabkan karena letak Kawasan Mangrove berada di kawasan mangrove dimana pada kawasan mangrove banyak terdapat serasah-serasah tumbuhan mangrove, sehingga nilai TOM pada kawasan ini lebih tinggi daripada di kedua stasiun lainnya. Menurut Barnes dan Hughes (1999), mangrove menghasilkan serasah sebanyak 20 ton/ha/tahun dengan produktifitas primer sebesar 0,5-2,4 gram C/m<sup>2</sup>/hari. Sebagian besar dari hasil serasah atau bahan organik yang berada di daerah mangrove tidak langsung dimanfaatkan oleh organisme melainkan akan memasuki jaring-jaring makanan dalam bentuk bahan organik terlarut (*Dissolved Organic Matter*). Bahan organik total atau “*Total Organic Matter*” (TOM) menggambarkan kandungan bahan organik total suatu perairan yang terdiri dari bahan organik terlarut, tersuspensi (*particulate*) dan koloid (Hariyadi *et al.*, 1992).

Berdasarkan hasil analisis bahan organik total (TOM/*Total Organic Matter*), dapat disimpulkan bahwa kisaran konsentrasi TOM di perairan pantai Talang Siring sebesar 29,07 – 31,6 mg/L berada pada kondisi optimal untuk mendukung kehidupan biota laut, hal ini sesuai dengan pendapat Hynes (1972) dalam Awuy dan Sudaryanti (2003), yang menyatakan bahan organik merupakan pendukung pertumbuhan organisme.

Menurut Sawyer dan McCarty (1978) dalam Effendi (2003), bahan organik berasal dari tiga sumber utama sebagai berikut :

1. Alam, misalnya fiber, minyak nabati dan hewani, alkaloid, selulosa, kanji, gula dan sebagainya.
2. Sintesis, yang meliputi semua bahan organik yang diproses oleh manusia.
3. Fermentasi, misalnya alcohol, aseton, gliserol, antibiotika, dan asam, yang semuanya diperoleh melalui aktivitas organisme.



## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

- ❖ Kandungan logam berat di perairan Pantai Talang Siring untuk Pb, Cd, dan Hg memiliki nilai yang cukup tinggi dikarenakan telah melewati ambang batas yang telah ditentukan.
- ❖ Tiram *Crassostrea iredalei* mengakumulasi logam berat Pb, Cd, dan Hg lebih tinggi dari di perairan, logam berat Pb dan Cd pada tiram *Crassostrea iredalei* ini telah melebihi ambang batas. Sementara Hg masih dibawah ambang batas dan berada pada kisaran yang aman.
- ❖ Hasil analisis kadar Densitas dan Intensitas Metallothionein pada insang tiram menunjukkan bahwa kadar metallothionein pada insang tiram *Crassostrea iredalei* baik pada Densitas dan Intensitas tertinggi terdapat pada Kawasan Pariwisata dan Perkapalan.
- ❖ Hubungan korelasi antara Intensitas Metallothionein dengan ukuran tiram dan logam berat sangat kuat, karena R korelasinya lebih dari 0,75. Begitu pula dengan Densitas Metallothionein yang memiliki hubungan R korelasi dengan ukuran tiram dan logam berat yang lebih dari 0,75.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, ukuran tiram dan kadar logam berat Pb, Cd dan Hg memiliki korelasi yang sangat kuat terhadap Metallothionein. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan Metallothionein dalam tiram sebagai biomarker terhadap pencemaran logam berat Pb, Cd dan Hg. Di samping itu juga perlu dilakukan pengawasan lebih lanjut dan pengendalian terhadap pencemaran logam berat baik di perairan maupun di tiram dengan cara meminimalisir pembuangan limbah yang mengandung logam berat ke dalam perairan serta

untuk pemanfaatan tiram perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dikonsumsi. Diperlukan penelitian lebih lanjut terkait kandungan Metallothionein di epitel cangkang tiram dan hubungannya terhadap daya akumulasi logam berat di epitel cangkang tersebut.





## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulgani , N., Anunrohchim, dan A.W. Indarto. 2008. Konsentrasi Kadnium (Cd) pada Kerang hijau (perna viridis) disurabaya dan Madura. Nurnal biologi FMIPA. ITS. Surabaya
- Acker L. Ann, J. R. McMahan, and J.E.Gawel. 2005. The effect of heavy metal pollution in aquatic environment on metallothionein production in Mytilus sp. Journal of ecotoxicology.
- Apriadi, D. 2005. Kandungan Logam Berat Hg, Pb, dan Cr pada Air, sedimen dan Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) di perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Arrignon, J. 2003. Management of Freshwater Fisheries. Science Publishers, Inc. United States of America.
- Awuy, HN.H.S. dan Sudaryanti, S. 2003. Pemberdayaan Komunitas Makrozoobenthos Untuk Pengelolaan Sungai Lang-Lang Kecamatan Singosari Kabupaten Malang Jawa Timur. Disampaikan Dalam Seminar Nasional Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh November 2003. Hlm 1-6.
- Azhar H., Ita W., Jusup S. 2012. Studi Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Cd, Cr, Pada Kerang Simpson (*Amusium pleuronectes*), Air dan Sedimen di Perairan Wedung, Demak Serta Analisis *Maximum Tolerable Intake* Pada Manusia. Journal Of Marine Research. Volume 1, Nomor 2, Tahun 2012, Halaman 35-44.
- Barret, E. M. 1963. The California Oyster Industry, The Resources Agency of California Departement of Fisheries. Fisheries Bulletin.
- Barus, T.A. 2002. Pengantar Limnologi. Pustaka Pelajar. Yogyakarta. 96 hlm.
- Bella, N. L., and Hilliker. A. 2003. Mercury in the Environment. The Traprock. Vol. 2. Pp: 33 – 36
- Carpene, E., G. Andreani, G. Isnani. 2007. Metallothionein Finctions and Structural Characteristics. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. p : 35-39.
- Carpenter K.E.dan Volker H.N. 1998. The Living Marine Resource of The Western Central Pasific. FAO Species Identification Guide for Fisheries Purposes. Volume1. ISSN: 1020-4547.
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup Dan pencemaran, Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam.Ul Press: Jakarta.
- Dewi N.K., Perdhana FF., Yuniastuti A. 2012. Paparan Seng di Perairan Kaligarang Terhadap Ekspresi Zn-Thionein dan Konsentrasi Seng Pada Hati Ikan Mas. Jurnal MIPA 35 (2): 108-115.

Dianti R.S. 2007. Studi kandungan logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada kerang hijau (*Mytilus viridis*) di Pantai Ngimboh Gresik Jawa Timur. Skripsi, Universitas Malang.

Dinas Pengelola Data Elektronik Propinsi Jawa Timur. 2001. Potensi Jawa Timur. <http://www.jatimprov.go.id/> diakses pada tanggal 22 September 2014 pukul 19.23 WIB

Effendi, E. 2010. Bahan Prosiding. Aplikasi larutan amonia untuk meningkatkan motilitas spermatozoa dan pembuahan telur tiram mutiara (*Pinctada maxima*). <http://www.docstoc.com/docs/10627441/> bahan-posing. Diakses pada tanggal 29 September 2014.

Effendi, E., 2003. Telaah kualitas air. Bagi pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan. Penerbit kanisius. Yogyakarta.

Ernawati, 2010. Kerang bulu (anadara inflata) sebagai bioindikator pencemaran logam berat timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) di Muara sungai Asahan. Tesis. Program studi Magister Biologi, FMIPA, Universitas Sumatera Utara, 41-42

Farabi, Makhyani J. 2012. Teknik ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay). <http://makhyaniibriel.blogspot.com/2012/03/teknik-elisa-enzyme-linked.html>. Diakses pada tanggal 30 September 2014.

Fardiaz, S. 1992. Polusi air dan udara. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.

Fergusson, J.E. 1991. The heavy element chemistry environmental impact and health effects. Pergamon press.

Fitriyah, K. R. 2007. Studi pencemaran logam berat kadmium (Cd), merkuri (Hg) dan Timbal (Pb) pada air laut, sediment dan kerang bulu (anadara antiquate) diperaian pantai lekok pasuruan. Universitas islam neger. Malang.

Galtsoff, P. S. 1964. The American Oyster (*Crassostrea virginica*). Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service. 64 : 489 P.

Geffard A., O. Geffard., J.C. Amiard., E. His., C. Amiard Triquet. 2007. Bioaccumulation of metals in sediment elutriates and their effects on growth, condition index, and metallothionein contents in oyster larvae. HAL Id: hal-00448939

Greene W. H. 2003. Econometric Analysis. Upper Saddle River, New Jersey 07458.

Handayani S dan Patria M.P. 2005. Komunitas Zooplankton di Perairan Waduk Krenceng, Cilegon, Banten. Makara, Sains, VOL. 9, NO. 2, November 2005: 75-80

Hariyadi, S., I. N. N. Suryadiputra dan B. Widigo. 1992. *Limnologi Penuntun Praktikum dan Metoda Analisa Kualitas Air*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Hertika A.M.S., Marsoedi., D. Arfiati., Soemarno. 2014. Density and Intensity of Metallothionein in Gill and Interior Cavity of Taiwan Mussels (*Anodonta woodiana*) after Exposure to Lead (Pb) at Sub-Chronic Level using Immunohistochemical Technique. *Journal of Natural Sciences Research*. ISSN: 2224-3186 (Paper).ISSN: 2225-0921 (Online)
- Hutabarat, S, & S. M. Evans, 1985. *Pengantar Oseanografi*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Hutagalung, H.P. 1991. Pencemaran Laut oleh Logam Berat. Dalam status pencemaran laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya. P30-LIPI.Jakarta.Hal 45-59.
- Hynes, H.B.N. 1978. *The Ecology of Running Waters*. University of Toroto press.
- Idris, I. B. 2006. Pengaruh Faktor – Faktor Persekitaran terhadap Pertumbuhan dan Kemandirian Tiram KOMersil *Crassostrea iredalei* (Faustino) di Kawasan Peternakan Tiram di KG. Telaga Nenas, Perak. University Sains Malaysia.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2004. Baku Mutu Air Laut Untuk Wisata Bahari. Lampiran II
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2004. Baku Mutu Air Laut Untuk Biota Laut. Lampiran III
- Khayatzadeh, J., and Abbasi, E. 2010. The effects of heafy metals on aquatic animals. The first international applied geological congress, department of geology, Islamic Azad University-Mashad Branch. Iran.
- Klaassen Curtis D., Jie L, dan Supratim C. 1999. METALLOTHIONEIN: An Intracellular Protein to Protect Against Cadmium Toxicity. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 1999. 39:267–94
- Kordi, M. G. 2005. *Usaha Pembenihan Ikan Kerapu di Tambak*. Yogyakarta: Kanisius.
- Larasati. 2010. *Prosedur tetap Pengecatan Imunohistokimia p53*. Cancer chemoprevention research center. Fakultas Farmasi UGM. Yogyakarta.
- Lehr S, Kotzka J, Herkner A, Klein E, Siethoff C, Knebel B, Noelle V, Brüning JC, Klein HW, Meyer HE, Krone W, Müller-Wieland D. 1999. Identification of tyrosine phosphorylation sites in human Gab-1 protein by EGF receptor kinase in vitro. *Biochemistry*. Jan 5;38(1):151-9.
- Leung, K.M.Y., Furness, R.W. 1999. Effects of Animal Size on Concentrations of Metallothionein andMetals in Periwinkles *Littorina littorea*Collected from the Firth of Clyde,Scotland. *Marine Pollution Bulletin*.39 (1-12): 126-136.
- Maslukah, L. 2006. Konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cu, Zn, dan pola sebarannya di muara banjir kanal barat, Senarang. Skripsi. IPB. [Repository.ipb.ac.id/bitstream/handle.../2006lma1.pdf](http://Repository.ipb.ac.id/bitstream/handle.../2006lma1.pdf).

Mezei, T. 2010. About Oyster. <http://www.ostrea.org/oysters.html>. Diakses pada tanggal 29 September 2014.

Mugilaksani, E. 2013. Analisis Kadar Metalotionein pada Lambung Tiram *Crassostrea cucullata* dari Perairan yang Mengandung Logam Berat Pb, Cd, dan Hg di Pelabuhan Pantai Mayangan Probolinggo, Jawa Timur. Universitas Brawijaya: Malang.

Murtini, J. T., A. D. Kurniawan dan E. N. Dewi. 2008. Pengaruh Waktu Perendaman dan Konsentrasi Karboksimetil Kitosan untuk Menurunkan Kandungan Logam Berat Hg, Cd, dan Pb Pada Kerang Hijau (*Perna viridis* Linn.). Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.3 (1): 37-44.

Murtini J. S., Rosmawaty P. 2006. Kandungan Logam Berat Pada Kerang Kepah (*Meritrix meritrix*) dan Air Laut di Perairan Banjarmasin. Jurnal Perikanan VIII (2): 177-184

Musthafia, I. 2001. Studi Biologi Reproduksi Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) Hubungan Panjang Berat serta Tingkat Kematangan Gonad. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Nontji. 2002. Laut Nusantara. Cetakkan Ketiga. Penerbit Djambatan. Jakarta.

Nugroho, A.P. 2004. EKOTOKSIKOLOGI. Buku Ajar: Fakultas Biologi Universitas Gajah Mada.

Palar, H. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta: Jakarta.

Parenrengi, A., Syarifudin, T., dan Sri, L. 1998. Studi Jenis dan Kelimpahan Plankton Pada Berbagai Kedalaman dan Hubungannya dengan Komposisi Makanan Tiram Mabe (*Pteria penguin*). Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia. IV (4). Balai Penelitian Perikanan Pantai Maros. Watampone.

Peer, F. E., Safaheah, A. D. Sohrab, and S.P. Tochanii. 2010. Heavy Metal Concentration in Rock Oyster *Saccostrea cucullata* from Iranian Coast of the Oman Sea. Trakia Journal of Science. 8 (1) : 79-96.

Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001. Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air Presiden Republik Indonesia. PP No. 8: 2001

Pescod, M.B. 1973. Investigation of ration effluent and stream of tropical countries. Bangkok. AIT. 59 hal

Prasetyo, A.D. 2009. Pemantauan kandungan logam berat (Hg,Pb, dan Cd) dengan penambahan bahan pengawet dan waktu perendaman yang berbeda pada kerang hijau (*Perna viridis* L.) di perairan Muara Kamal, Teluk Jakarta. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.

- Purba N.P dan Khan A.M.A. 2010. Karakteristik Fisika-Kimia Perairan Pantai Dumai Pada Musim Peralihan. *Jurnal Akuatika* Volume I Nomor 1: ISSN 0853-2523.
- Quillin M. L. dan B. W. Matthews. 2000. Accurate calculation of the density of proteins. *Acta Cryst.* (2000). D56, 791-794.
- Rahman, A. 2006 Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Beberapa Jenis Krustasea di Pantai Batakan dan Takisung Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *BIOSCIENTIAE*. 3 (2): 93-101
- Ramakritinan C. M., Rathisri C., Kumaraguru A. K. 2012. Acute Toxicity of Metals: Cu, Pb, Cd, Hg, dan Zn on Marine Molluscs, *Cerithedia Cingulata* G., and *Modiolus Philippinarum* H. *Indian Journal of Geo-Marine Science*. Vol 41(2): 141-145.
- Ramos-Vara, JA. 2005. "Technical Aspects of Immunohistochemistry". *Vet Pathol* 42 (4): 405–426. doi:10.1354/vp.42-4-405. PMID 16006601.
- Rantam, Fedik A. 2003. *Metode Immunologi*. Airlangga University Press. Surabaya. 145-155
- Reilly, C. 1991. *Metal contamination food*. Second edition. Elsevier science publisher Ltd. London.
- Riniatsih I dan Kushartono E.W. 2009. Substrat Dasar dan Parameter Oseanografi Sebagai Penentu Keberadaan Gastropoda dan Bivalvia di Penentu Keberadaan Gastropoda dan Bivalvia di Penentu Keberadaan Gastropoda dan Bivalvia di Pantai Sluke Kabupaten Rembang. *Ilmu Kelautan*. Vol. 14(1):50-59
- Rumimohtarto, 1991. Status pencemaran laut di Indonesia dan teknik pemantauannya. Lembaga ilmu pengetahuan Indonesia. Jakarta.
- Ruyitno, Pramudji dan Imam S. 2003. *Pesisir dan Pantai Indonesia VIII*. Pusat Penelitian Oseanografi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta.
- Salmin. 2005. *Oksigen terlarut (DO) dan kebutuhan oksigen biologi (BOD) sebagai salah satu indikator untuk menentukan kualitas perairan*. *Oseana*, Volume XXX, Nomor 3, 2005 : 21 – 26. [www.oseanografi.lipi.go.id](http://www.oseanografi.lipi.go.id)
- Sastrawijaya, A. T. 1991. *Pencemaran Lingkungan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Sembel L. 2011. Analisis Logam Berat Pb, Cd, dan Cr Berdasarkan Tingkat Salinitas Di Estuari Sungai Belau Teluk Lampung. Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Peternakan Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Negeri Papua.
- Setiawan, I Made. 2007. Pemeriksaan Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) untuk diagnosis Leptospirosis. *EBERS PAPURUS*.

- Setyono, D. E. D. 2006. Karakteristik Biologi dan Produk Keckerangan Laut. *Jurnal Oseana*. 31 (1) : 1-7.
- Siaka IM. 2008. Korelasi Antara Kedalaman Sedimen Di Pelabuhan Benoa Dan Konsentrasi Logam Berat Pb dan Cu. *Jurnal Kimia* 2 (2), Juli 2008: 61-70.
- SNI, 1990. Metode Pengukuran Kualitas Air. Dinas Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Stillman M.J., Wuhua C., dan Andrzej J.Z. 1987. Cadmium Binding to Metallothionein. *The Journal of Biological Chemistry*. Vol. 262, No. 10: 4538-4548
- Suaniti, Ni Made. 2007. Pengaruh EDTA dalam Pembentukan Kandungan Timbal dan Tembaga Pada Kerang Hjau (*Mytilus viridis*). *Ecotrophic*.2 (1): 1-7.
- Subowo, Kurniansyah AM, Sukristiyonubowo. 1999. Pengaruh Logam Berat Pb dalam Tanah terhadap Kandungan Pb, pertumbuhan dan hasil Tanam Caisem (*Brassica rapa*). Prosiding seminar sumberdaya tanah, iklim dan pupuk. Puslittanak. Bogor.
- Sugiono S, D. Agam, Auralia L. E. S., Ruth S. H, dan Budianto G. 2010. Teknik Analisa DNA Enzyme-Linked Immunosorbent Assay ELISA. [lsjd.pdii.lipi.go.id /admin/jurnal/ 32107587\\_2087-121X.pd](http://lsjd.pdii.lipi.go.id/admin/jurnal/32107587_2087-121X.pd) pola penyebaran pb ml.scribd.com /doc/ 39010855/. Diakses pada tanggal 30 September 2014.
- Sundari, E. S. 2002. Komposisi dan Penyebaran Bivalvia pada Hutan Mangrove Teluk Hurun Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Lampung Selatan Provinsi Lampung. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Suprpto. 2011. Metode Analisis Parameter Kualitas Air untuk Budidaya Udang. Shrimp Club Indonesia.
- Supriyadi, D. S. 2002. Kondisi Perairan Muara Berdasarkan Parameter Fisika dan Kimia di Muara Bengawan Solo Ujung Pangkah Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Suryadiputra , I. N. 1995. Pengolahan air limbah dengan metode biologi. Fakultas perikanan dan ilmu kelautan Institut pertanian bogor.
- Suryono, C. A. 2006. Kecepatan Filtrasi Kerang Hijau *Perna viridis* terhadap *Skeletonemasp* pada Media Tercemar Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu). *Jurnal Ebbers Papyrus*. 13 (3) : 125-136.
- Suseno, H dan S. M. Panggabean. 2007. Merkuri: Spesiasi dan Bioakumulasi pada Biota Laut. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*.10 (1): 66-78.
- Trianto, M.Pd (2010) berjudul Mengembangkan Model Pembelajaran Tematik. Penerbit : PT. Prestasi Pustakaraya - Jakarta. Hal.136-139.
- Walpole, R. E. 1995. Pengantar Statistika. Edisi Ke-3. PT. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.

- Wetzel, R. G., and Likens G. E. 1975. *Limnological Analyses*. W. B. Saunders Company. Philadelphia.
- Wibisono, M. S. 2010. *Pengantar Ilmu Kelautan Edisi 2*. Jakarta: UI Press.
- Widyaningrum, Miskiyah, dan Suismono. 2007. Bahaya kontaminasi logam berat dalam sayuran dan alternative pencegahan cemarannya. *Bulletin Teknologi pasca panen Pertanian Vol. 3 Hal : 16-27*.
- Wijayanti H.M. 2007. *Kajian Kualitas Perairan Di Pantai Kota Bandar Lampung Berdasarkan Komunitas Hewan Makrobenthos*. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro: Semarang
- Wulandari, E. 2010, *Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Karakteristik Haemocyte Tiram (Saccostrea glomerata) dari Perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara Prigi Trenggalek, Jawa Timur*. Tesis. Universitas Brawijaya. Malang.
- Wulandari E., Herawati E.Y., Arfiati D. 2012. *Kandungan Logam Berat Pb pada Air laut dan Tiram Saccostrea glomerata sebagai Bioindikator Kualitas Perairan Prigi, Trenggalek, Jawa timur*. *Jurnal Penelitian Perikanan 1(1) (2012) 10-14*.
- Wulandari, S. Y., B. Yulianto, G. W. Santosa dan K. Suwartimah. 2009. *Kandungan Logam Berat Hg dan Cd dalam Air, Sedimen dan Kerang Darah (Anadara granossa) dengan Menggunakan Metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN)*. *ILMU KELAUTAN. 14 (3): 170 – 175*.
- Yasuda, Y, 2000. *Environmental Change in Eurasia. Monsoon. Vol 1(1). Pp;1-133*.
- Yusuf G. 2008. *Bioremediasi Limbah Rumah Tangga Dengan Sistem Simulasi Tanaman Air*. *Jurnal Bumi Lestari, Vol. 8 No. 2. hal. 136-144*