

**DENSITAS DAN INTENSITAS METALLOTHIONEIN YANG TEREKSPRESI  
PADA LAMBUNG *Crasosstreairedalei* DI PANTAI TALANG SIRING  
PAMEKASAN MADURA**

**LAPORAN SKRIPSI  
PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN  
JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN**

Oleh :

**FITRYADHI AKBAR HIDAYATULLAH**

**NIM. 115080101111007**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2015**

**DENSITAS DAN INTENSITAS METALLOTHIONEIN YANG TEREKSPRESI  
PADA LAMBUNG *Crasosstreairedalei* DI PANTAI TALANG SIRING  
PAMEKASAN MADURA**

**LAPORAN SKRIPSI**

**MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN**

**Laporan Skripsi Sebagai Salah Satu Syarat  
untukMemperolehGelar Sarjana Perikanan pada  
Fakultas Perikanan dan IlmuKelautan  
Universitas Brawijaya**

**OLEH :**

**FITRYADHI AKBAR HIDAYATULLAH**

**NIM. 115080101111007**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2015**



SKRIPSI

DENSITAS DAN INTENSITAS METALLOTHIONEIN YANG  
TEREKSPRESI PADA LAMBUNG *Crasostrea iredalei* DI PANTAI  
TALANG SIRING PAMEKASAN MADURA

OLEH :

FITRYADHI AKBAR HIDAYATULLAH

NIM. 115080101111007

telah dipertahankan didepan penguji  
pada tanggal 06 Mei 2015  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

SK Dekan No. :

Tanggal :

Dosen Penguji I

(Dr. Uun Yanuhar, S.Pi, M.Si)

NIP. 19730404 200212 2 001

Tanggal :

Dosen Penguji II

(Prof. Dr. Ir. Diana Arfiati, MS)

NIP. 19591230 198503 2 002

Tanggal :

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

(Dr. Asus Maizar SH., S.Pi, MP)

NIP. 19591230 198503 2 002

Tanggal :

Dosen Pembimbing II

(Dr. Ir.Mulyanto, M.Si)

NIP. 19600317 198602 1 001

Tanggal :

Mengetahui,  
Ketua Jurusan

(Dr. Ir. Arning Wilujeng Ekawati, MS)

NIP. 19620805 1986032 001

Tanggal :

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam laporan skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan laporan skripsi ini hasil penjiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 5 April 2015

Mahasiswa

**Fitryadhi Akbar Hidayatullah**

**NIM. 115080101111007**



**Fitryadhi Akbar Hidayatullah.** Densitas Dan Intensitas Metallothionein yang Tereksresi pada Lambung Tiram (*Crassostrea iredalei*) di Pantai Talang Siring, Kabupaten Pamekasan, Jawa Timur. (di bawah bimbingan **Dr. Asus Maizar S.H., Spi, MP** dan **Dr. Ir. Mulyanto M.Si**)

---

## RINGKASAN

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. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan kadar Pb, Hg, Cd dan ukuran tiram dengan ekspresi densitas dan intensitas Metallothionein (MT) pada lambung tiram *Crassostrea Iredalei* di perairan pantai Talang Siring, Kabupaten Pamekasan, Jawa Timur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah 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.

Kandungan logam berat di perairan Pantai Talang Siring untuk Pb berkisar 0,016 – 0,022 ppm, Cd berkisar 0,019 – 0,029 ppm, dan Hg berkisar 0,011 – 0,016 ppm. Tiram *Crassostrea iredalei* mengakumulasi logam berat lebih tinggi dari di perairan, dengan kadar logam berat di lambung tiram untuk Pb berkisar 0,75 - 1,14 mg/l, Cd berkisar 0,17 – 0,22 mg/l, dan Hg berkisar 0,11 – 0,16 mg/l. Hasil analisis kadar Densitas Metallothionein pada lambung tiram menunjukkan bahwa kadar metallothionein pada lambung tiram *Crassostrea iredalei* di kawasan mangrove berkisar antara  $88,3 \times 10^{-4} \text{ MT}/\mu\text{m}^2$  -  $173,8 \times 10^{-4} \text{ MT}/\mu\text{m}^2$ , pada kawasan pariwisata berkisar antara  $206,3 \times 10^{-4} \text{ MT}/\mu\text{m}^2$  -  $266,9 \times 10^{-4} \text{ MT}/\mu\text{m}^2$ , dan pada kawasan pemukiman berkisar antara  $83,5 \times 10^{-4} \text{ MT}/\mu\text{m}^2$  -  $150,4 \times 10^{-4} \text{ MT}/\mu\text{m}^2$ . Hasil analisis kadar Intensitas Metallothionein pada lambung tiram menunjukkan bahwa kadar metallothionein pada lambung tiram *Crassostrea iredalei* di kawasan mangrove berkisar antara 16427 pixel – 21247 pixel, kawasan pariwisata berkisar antara 17908 pixel – 21337 pixel dan pada kawasan pemukiman berkisar antara 16025 pixel – 17058 pixel. Berdasarkan hasil penelitian, ukuran tiram dan kadar logam berat Pb, Cd dan Hg memiliki korelasi yang sangat kuat terhadap MT. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan MT 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.

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmad dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian Srikpsi ini sesuai harapan. Penulisan ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Jurusan Manajemen Sumberdaya Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang, selain itu dengan diadakannya Penelitian ini diharapkan nantinya penulis mampu mengetahui gambaran mengenai ekspresi densitas dan intensitas metallothionein pada *Crasostrea iredalei* sehingga dapat dijadikan biomarker pencemaran dalam penanganan logam berat di pantai Talang Siring, Pamekasan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan baik dari segi tulisan maupun sistem penulisanya. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun guna memperbaiki penulisan ini. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi penulis dan bermanfaat pula bagi pihak yang membutuhkan.

Malang, 5 April 2015

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Teriring salam dan doa semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya kepada kita semua dalam menjalankan amanah sebagai khalifah di muka bumi, dan sholawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan tauladan yang sempurna bagi umat di dunia. Rasa terima kasih yang paling dalam, penyusun sampaikan atas bantuan dalam penyusunan laporan skripsi kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan serta kelancaran.
2. Kedua orangtua Bapak Patriabudi S.Pd, Mama Sutini S.Pd dan kedua kakakku Dhani Triadi S.Hut., M.Si dan Enny Susanti S.Kel. yang telah memberikan segala dukungan moril dan materil, semangat dan doa.
3. Bapak Dr. Asus Maizar S.H, S.Pi, MP selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Mulyanto, M.Si selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan yang sistematis dalam menyelesaikan laporan dengan baik, sabar dan ikhlas.
4. Ibu Prof. Dr.Ir. Diana Arfiati, MS dan ibu Dr. Uun Yanuhar, S.Pi, M.Si selaku Dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran pada saat ujian sehingga ujian berjalan dengan lancar.
5. My Love Nasren Teza Teffany yang telah memberikan motivasi, doa, dukungan penuh dan kesabarannya.
6. Team Madura Bahagia (Shinta, Girin, Tadtheo, Dian, Ramli, Tiyan dan Dyah) yang telah membantu dalam proses penelitian dan penulisan secara langsung, serta memberikan dukungan dan manfaat yang sangat berguna.

7. Sahabat serta teman-teman MSP'11 seperjuangan yang selalu memberikan hiburan dan saling melengkapi keadaan.
8. Seluruh sahabat serta teman-teman Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya yang selalu memberikan dukungan dan kenangan.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca. Semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang berminat dan memerlukan. Amin.

Malang, 5 April 2015

Penulis

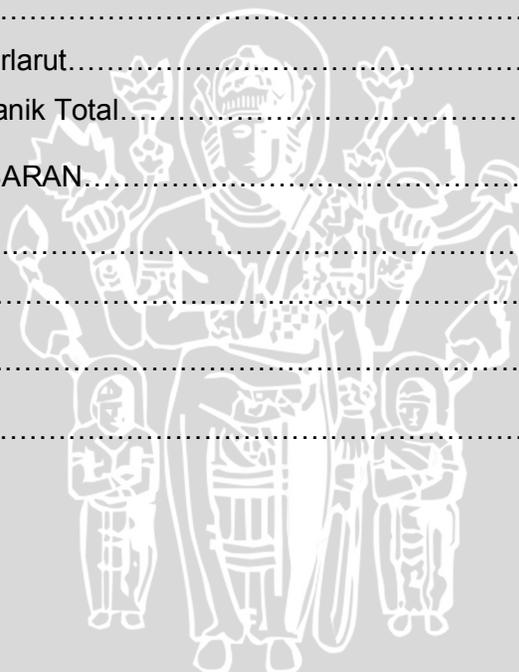


DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
RINGKASAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Kegunaan.....	2
1.5 Waktu dan Tempat.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tiram.....	4
2.1.1 Morfologi Tiram.....	4
2.1.2 Anatomi Tiram.....	5
2.1.3 Klasifikasi <i>Crasosstrea iredalei</i> .....	6
2.1.4 Kebiasaan Makan.....	7
2.1.5 Proses Masuknya Makanan Pada Tiram.....	8
2.2 Metallothionein.....	9
2.3 Pengikatan Logam Berat Oleh Metallothionein.....	10
2.4 Hubungan Logam Berat, Ukuran Tiram, dan MT.....	11
2.5 Pengamatan MT dengan Metode IHK.....	12
2.6 Logam Berat.....	14

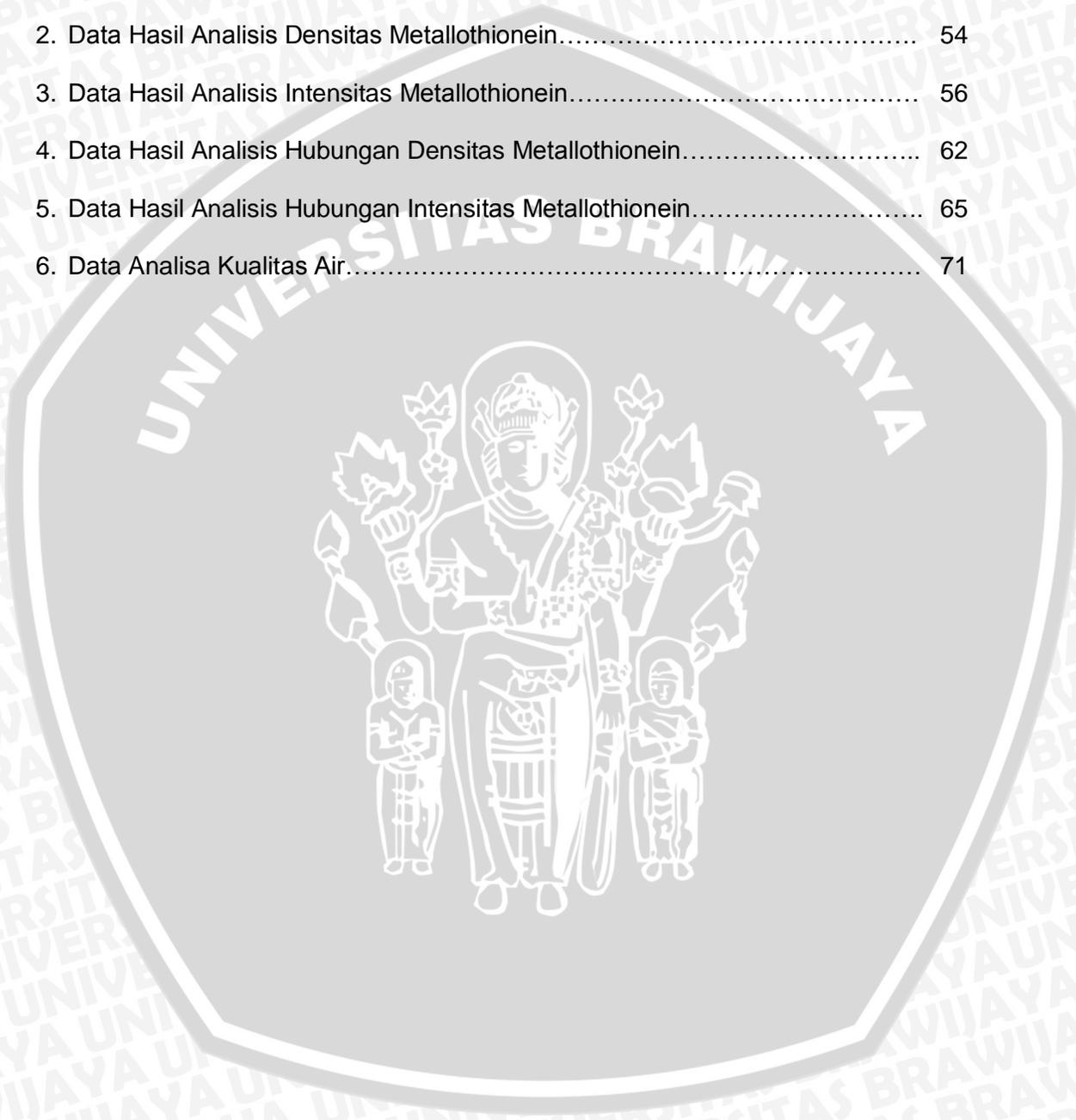
2.6.1 Timbal (Pb).....	15
2.6.2 Kadnium (Cd).....	16
2.6.3 Merkuri (Hg).....	16
2.7 Kualitas Fisika dan Kimia Air.....	17
2.7.1 Suhu.....	17
2.7.2 pH.....	18
2.7.3 DO.....	19
2.7.4 TOM.....	20
2.7.5 Salinitas.....	21
3. METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Materi Penelitian.....	22
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	22
3.3.1 Pengumpulan Data.....	22
3.3.2 Penentuan Stasiun.....	22
3.4 Pengambilan Sampel.....	23
3.5 Analisa Sampel Metode IHK.....	24
3.5.1 Preparasi Sampel.....	24
3.5.2 Pembuatan Irisan Jaringan.....	25
3.5.3 Pewarnaan Imunohistokimia.....	26
3.5.4 Scan Dengan Mikroskop Olivia.....	28
3.5.5 Perhitungan Densitas dan Intesitas.....	29
3.5.6 Analisis Intensitas Metallothionein.....	30
3.6 Prosedur Analisis Logam Berat Pb, Cd, dan Hg.....	31
3.7 Analisa Kualitas Air.....	32
3.7.1 Parameter Fisika.....	32
3.7.2 Parameter Kimia.....	33
3.8 Analisis Data.....	35
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Gambaran Umum Perairan Pantai Talang Siring.....	36
4.2 Deskripsi Stasiun Pengamatan.....	37
4.2.1 Stasiun 1.....	37
4.2.2 Stasiun 2.....	38
4.2.3 Stasiun 3.....	39
4.3 Sebaran Ukuran Sampel.....	40
4.4 Logam Berat Pb, Cd, dan Hg pada Perairan.....	43

4.5 Logam Berat Pb, Cd, dan Hg Pada Lambung Tiram.....	47
4.6 Ekspresi Metallothionein Pada Lambung Tiram Dengan Metode IHK.....	50
4.7 Hasil Densitas dan Intensitas Metallothionein Pada Lambung Tiram.....	53
4.7.1 Hasil Analisis Densitas Metallothionein Pada Lambung Tiram.....	53
4.7.2 Hasil Analisis Intensitas Metallothionein Pada Lambung Tiram.....	56
4.8 Hubungan Ukuran dan Kadar Logam Berat Pb, Cd, dan Hg dengan Metallothionein Pada Lambung Tiram.....	59
4.8.1 Analisis Hubungan Kadar Logam Berat Dengan Densitas.....	60
4.8.2 Analisis Hubungan Kadar Logam Berat Dengan Intensitas.....	64
4.9 Parameter Kualitas Air.....	67
4.9.1 Suhu .....	67
4.9.2 Derajat Keasaman ( pH ) .....	69
4.9.3 Salinitas .....	70
4.9.4 Oksigen Terlarut.....	71
4.9.5 Bahan Organik Total.....	72
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....	75
LAMPIRAN.....	83



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data Ukuran Sampel Tiram.....	40
2. Data Hasil Analisis Densitas Metallothionein.....	54
3. Data Hasil Analisis Intensitas Metallothionein.....	56
4. Data Hasil Analisis Hubungan Densitas Metallothionein.....	62
5. Data Hasil Analisis Hubungan Intensitas Metallothionein.....	65
6. Data Analisa Kualitas Air.....	71



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tiram <i>Crasosstrea iredalei</i> .....	6
2. Metallothionenin yang Menikat Cd.....	11
3. Penentuan Letak Stasiun.....	23
4. Lokasi Penelitian.....	36
5. Lokasi Stasiun 1.....	38
6. Lokasi Stasiun 2.....	39
7. Lokasi Stasiun 3.....	39
8. Grafik Ukuran Tiram <i>Crasosstrea iredalei</i> .....	41
9. Grafik Rata-rata Kadar Logam Berat di Perairan Talang Siring.....	43
10. Grafik Rata-rata Kadar Logam Berat Pada Tiram.....	47
11. Ekspresi Metallothionein.....	51
12. Ekspresi Metallothionenin Pada Tiga Stasiun.....	52
13. Grafik Rata-rata Densitas Metallothionein pada Lambung Tiram.....	54
14. Intensitas Metallothionein.....	56
15. Grafik Rata-rata Intensitas Metallothionein pada Lambung Tiram.....	57
16. Grafik Hubungan Ukuran Tiram dan Logam Berat dengan Densitas Metallothionein .....	61
17. Grafik Hubungan Ukuran Tiram dan Logam Berat dengan Intensitas Metallothionein.....	64

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Alat dan Bahan .....	82
2. Peta Lokasi Penelitian .....	84
3. Data Logam Berat di Air dan Lambung Tiram .....	85
4. Data Densitas Metallothionein .....	86
5. Data Intensitas Metallothionein .....	87
6. Pengukuran Tiram <i>Crasosstreairedalei</i> .....	88
7. Gambar Densitas dan Intensitas Metallothionein .....	89
8. Output Analisis Regresi Berganda antara Hubungan Ukuran Tiram dan Logam Berat (Pb, Cd dan Hg) dengan Densitas dan Intensitas Metallothionein di Lambung .....	98



## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tiram termasuk spesies makrofauna benthik yang merupakan salah satu bioakumulator terbaik untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat di suatu daerah. Tiram merupakan biota yang potensial tercemar oleh 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).

Logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan terutama adalah merkuri (Hg), timbal/timah hitam (Pb), arsenik (As), tembaga (Cu), kadmium (Cd), khromium (Cr), dan nikel (Ni) (Fardiaz, 1992). Salah satu logam berat berbahaya yang sering mencemari lingkungan yang paling utama salah satunya adalah timbal (Pb) (Kristanto, 2002). Masuknya logam Pb ke dalam perairan melalui proses pengendapan yang berasal dari aktivitas di darat seperti industri, rumah tangga dan erosi, jatuhnya partikel-partikel dari sisa proses pembakaran yang mengandung tetraetil Pb, air buangan dari pertambangan bijih timah hitam dan buangan sisa industri baterai (Palar, 1995).

Tiram *Crassostrea iredalei* dapat mengakumulasi keberadaan logam berat dari konsentrasi yang hadir dalam air laut. Keberadaan tiram telah banyak digunakan sebagai bioakumulator pencemaran logam dalam ekosistem laut. Metallothionein yang terdapat dalam tiram dianggap sebagai biomarker yang baik terhadap paparan logam berat. Hal ini bahwa metallothionein penting terhadap pertahanan detoksifikasi logam non-esensial seperti timbal, kadmium dan merkuri (Carpene *et al.*, 2007).

Pantai Talang siring merupakan kawasan pantai selatan Pulau Madura yang mulai ramai oleh aktifitas manusia. Banyaknya aktifitas manusia dikhawatirkan

akan menimbulkan pencemaran khususnya logam berat (Hg, Pb, dan Cd). Adanya aktifitas manusia tersebut diduga tiram *Crassostrea iredalei* yang mendominasi keberadaannya sudah mulai tercemar oleh logam berat, sehingga dari keberadaan tingkat pencemaran tersebut diduga akan mempengaruhi kadar metallothionein yang ada didalam tubuh organisme seperti tiram.

### 1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah belum adanya penelitian yang dilakukan di Pantai Talang Siring mengakibatkan tidak ada data dasar tentang tingkat pencemaran logam berat di wilayah tersebut. Perairan yang mengandung logam berat diduga akan mempengaruhi densitas dan intensitas metallothionein pada tiram *Crassostrea iredalei*. Gambaran mengenai ekspresi densitas dan intensitas metallothionein pada *Crassostrea iredalei* dapat dijadikan biomarker pencemaran dalam penanganan logam berat di pantai Talang Siring, Pamekasan

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan logam berat di perairan Talang Siring, didalam tubuh tiram, dan mendeskripsikan densitas dan intensitas metallothionein pada lambung tiram *Crassostrea iredalei* yang hidup di Pantai Talang Siring Pamekasan Madura

### 1.4 Kegunaan

Kegunaan dari penelitian ini yaitu :

1. Memberikan pengetahuan mengenai densitas dan intensitas metallothionein yang ada pada tubuh tiram sebagai agen pengikatan maupun penyekapan logam didalam tubuh organisme

2. Sebagai data dasar tingkat pencemaran pada salah satu kawasan pantai selatan pulau Madura ( Pantai Talang Siring, Pamekasan )

### 1.5 Waktu dan tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2014 di Pantai Talang Siring Pamekasan Madura. Pengamatan histopatologi dilakukan di Laboratorium Patologi Anatomi Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang. Analisis kadar metallothionein pada tiram *Crassostrea iredalei* di Laboratorium Fisiologi Anatomi (FAAL) Fakultas Kedokteran, Universitas Brawijaya Malang. Analisis kandungan logam berat Hg, Pb, dan Cd dilakukan di laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) dan analisis kualitas air dilakukan di Laboratorium Ilmu – Ilmu Perairan (IIP), Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya Malang.



## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tiram

Tiram merupakan kelompok moluska dari kelas bivalvia, yang hidup di habitat laut atau air payau (Quayle dan Newkirk, 1989 *dalam* Wulandari, 2011). Bivalvia merupakan kelas kedua yang terbesar dari filum moluska setelah gastropoda yaitu sebanyak 31.000 spesies. Bivalvia termasuk kedalam hewan sesil yang tersebar di perairan pesisir seperti estuary, dengan dasar perairan lumpur bercampur pasir. Beberapa spesies bivalvia hidup pada substrat yang lebih keras seperti lempung, kayu atau batu, air tawar serta sedikit yang hidup di daratan ( Russel-Hunter, 1983 *dalam* Pratami, 2005).

Tiram adalah golongan kerang-kerangan (*bivalve*) yang mempunyai cangkang selangsup, secara umum dikenal dengan nama Oyster. Perbedaan tiram dengan kerang yaitu terletak pada cangkang dan tempat hidupnya. Tiram hidup menempel pada substrat yang lebih keras, seperti batu atau kayu (sugiarti, *et al.*, 2002; Arfiati, 2007), sedangkan kerang relatif dapat bergerak dan hidup di pasir atau masuk dalam pasir di dasar perairan. Menurut Irianto, *et al.*(1994), umumnya tiram ditemui menempel pada batu dan tiang – tiang pelabuhan, keramba dan pada akar-akar pohon didaerah pantai yang terkena pengaruh pasang surut air laut.

#### 2.1.1 Morfologi Tiram

Menurut Musthopia (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. Suhu yang diperlukan

bervariasi tergantung tempat hidupnya karena tiram dapat hidup pada posisi  $64^{\circ}$  LU sampai  $44^{\circ}$  LS.

Jenis kerang-kerangan termasuk pada jenis tiram *Crassostrea Iredalei* merupakan bioakumulator 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 tersebut 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).

Bentuk luar tiram seperti batu karang yang tidak ada tanda – tanda kehidupan. Tiram mempunyai sepasang cangkang yang disatukan pada bagian punggung dengan engsel untuk melindungi bagian dalam tubuh yang lunak agar terhindar dari benturan atau serangan hewan lain. Kedua belahan cangkang tidak sama bentuknya, cangkang yang satu lebih cembung dibanding lainnya (Sambaz, 2010).

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 atau 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 di perairan dengan arus agak kuat bentuknya lebih membulat (radial). Secara umum bentuk tiram 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 1.** Tiram *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	: <i>Eukaryota</i> - Whittaker & Margulis, 1978 – eukaryotes
Kingdom	: <i>Animalia</i> - C. Linnaeus, 1758 – animals
Subkingdom	: <i>Bilateria</i> - (Hatschek, 1888) Cavalier-Smith, 1983
Branch	: <i>Protostomia</i> - Grobber, 1908
Superphylum	: <i>Eutrochozoa</i>
Phylum	: <i>Mollusca</i> - (C. Linnaeus, 1758) Cuvier, 1795 – Molluscs
Class	: <i>Bivalvia</i> - C. Linnaeus, 1758 – Bivalves
Subclass	: <i>Metabranchia</i>
Superorder	: <i>Filibranchia</i>
Order	: <i>Pteriomorpha</i>
Suborder	: <i>Ostreina</i>
Superfamily	: <i>Ostreoidea</i>
Family	: <i>Ostreidae</i> - Rafinesque, 1815 - True Oysters
Subfamily	: <i>Ostreinae</i>
Genus	: <i>Crassostrea</i> - Sacco, 1897
Specific name	: <i>iredalei</i>
Scientific name	: <i>Crassostrea iredalei</i>

#### 2.1.4 Kebiasaan Makan

Menurut Suryono (2006), *Crassostrea iredalei* mendapatkan makanan dengan cara menyaring partikel dari perairan termasuk didalamnya microalgae. Makanan tiram yang berupa mikroalga tersebut masuk ke dalam rongga mulut setelah melalui penyaringan dengan cilia yang terdapat pada labial palp

sehingga air yang mengandung makanan terbawa masuk 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. 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 Proses Masuknya 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 dan “ditangkap” oleh tiram. Air kemudian melewati pori-pori di insang (ostium) ke ruang *excurrent*. Makanan yang mengandung lendir didorong dalam arah yang berlawanan dengan arah mulut dengan silia.

Tiram bersifat filter feeder non selektif 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 memiliki berat molekul rendah, mempunyai kandungan protein dan polipeptida yang kehadirannya dipengaruhi oleh induksi logam dan berpartisipasi dalam metabolisme dan detoksifikasi logam. Meskipun banyak penelitian yang menyatakan bukti konkrit namun terdapat beberapa penelitian yang membuktikan bahwa Metallothionein berperan dalam mengatur atau mengendalikan ketersediaan logam intraseluler Cu, Zn dan Cd. MT mampu mengendalikan pengambilan Cu dan Zn dengan bantuan molekul reseptor yang sesuai antara lain adanya metalloenzyme. Sehingga pengaturan pengambilan logam tersebut sangat spesifik. Metallothionein mengikat logam esensial maupun non esensial, sehingga dapat diyakini Metallothionein berperan dalam perlindungan organisme dalam toksisitas logam. Protein ini mengikat logam beracun seperti Cd, dimana ZnMT berfungsi sebagai reseptor Cd sedangkan dalam kasus metalloprotein, Zn berfungsi sebagai mekanisme untuk memulihkan struktur fungsional (Roesijadi, 1994).

Metallothioneins (MTs) telah banyak dipertimbangkan untuk digunakan sebagai biomarker tertentu karena potensi MT mencerminkan keberadaan logam berat polusidan induksi dari MT meningkat setelah paparan logam berat dalam organisme (Wu, *et al.*, 2005). Prosedur pengukuran tingkat pencemaran di perairan, khususnya untuk perairan Indonesia telah banyak dibuat, namun sedikit saja yang dapat dikategorikan sebagai prosedur yang peka, akurat dan dapat

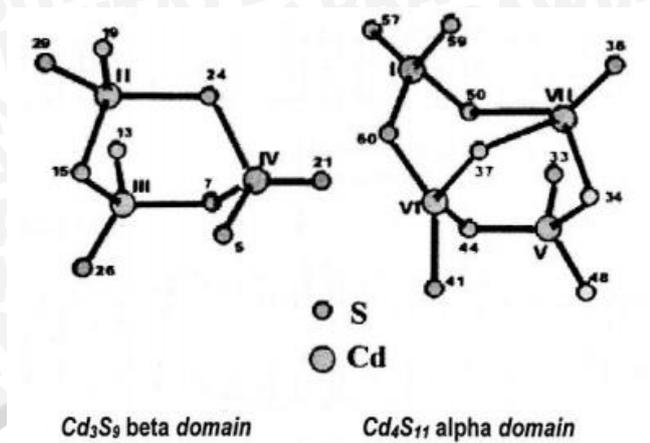
diandalkan. Apalagi pencemaran yang dimaksud adalah pencemaran yang disebabkan oleh logam berat yang berdampak luas sampai pada manusia. Salah satu alternatif prosedur pengukuran yang masuk dalam kategori peka, akurat dan dapat diandalkan serta dapat diaplikasikan di perairan Indonesia adalah pengukuran dengan menggunakan indikator metallothionein (Lasut, 2002).

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

### 2.3 Pengikatan Logam Berat oleh Metallothionein

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

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, MTs 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 2.** Metallothionein yang mengikat Cd (Google Image, 2014).

#### 2.4 Hubungan logam berat, Ukuran Tiram dan Mettallothionein

Metallothionein merupakan protein yang sangat peka dan akurat sebagai indikator pencemaran. Hal ini didasarkan pada suatu fenomena alam di mana logam-logam dapat terjerap di dalam jaringan tubuh organisme yang terdapat 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 (Lasut, 2002). Keberadaan metallothionein memiliki setidaknya dua fungsi utama, yaitu membersihkan materi radikal bebas yang terdapat didalam tubuh dan detoksifikasi logam untuk mencapai keadaan homeostasis. Adapun salah satu fungsi metallothionein adalah sebagai detoksifikasi logam untuk mencapai keadaan homeostasis, sehingga adanya metallothionein menyebabkan organisme menjadi resisten terhadap adanya logam berat dan menyebabkan toksisitas dari logam berat berkurang (Carpene, *et al.*, 2007).

Menurut hasil penelitian Nurjanah (1983) dalam Rudiyanti (2009), yang menyatakan bahwa tiram yang berukuran kecil (muda) memiliki kemampuan akumulasi yang lebih besar dibandingkan dengan tiram yang berukuran lebih besar (tua). Diduga semakin besar ukuran (tua) tiram maka akan semakin baik

kemampuannya dalam mengeliminasi logam berat. Penelitian Abdulgani *et al.* (2008), menyatakan bahwa rerata konsentrasi kadmium pada daging *Perna viridis* cenderung lebih tinggi pada ukuran yang lebih kecil dibanding yang berukuran lebih besar. Inswiasri (1995) menyatakan bahwa kadar kadmium dan merkuri yang terdapat dalam kerang hijau selalu menurun seiring dengan naiknya ukuran kerang.

Logam berat seperti kadmium (Cd) dapat menyebabkan karsinogen (gangguan metabolisme), mutagenik (mutasi gen) dan teratogenik (kelainan gen) pada beberapa jenis hewan termasuk pada bivalvia. Ketika berada di dalam sel, salah satu logam berat seperti Cd akan menginduksi berbagai jenis mekanisme signal transduksi serta mengaktifkan banyak gen. Salah satu efek langsung yang ditimbulkan oleh logam berat Cd adalah mengganggu proses homeostasis sel. Mekanisme homeostasis sel terlaksana dengan keberadaan protein metallothionine (MT) yang berperan sebagai protein pengikat logam dan mengurangi efek toksik (Rumahlatu, 2012).

## **2.5 Pengamatan Metallothionein dengan metode imunohistokimia**

Imunohistokimia merupakan proses untuk mendeteksi antigen (protein, karbohidrat, dsb) pada sel dari jaringan dengan prinsip reaksi antibodi yang berikatan terhadap antigen pada jaringan. Nama imunohistokimia diambil dari nama "immune" yang menunjukkan bahwa prinsip dasar dalam proses ini adalah penggunaan antibodi 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).

Imunohistokimia merupakan suatu cara pemeriksaan untuk mengukur derajat imunitas atau kadar antibodi atau antigen dalam sediaan jaringan. Pewarnaan sediaan jaringan menimbulkan ikatan antibodi pada antigen dipermukaan atau didalam sel yang selanjutnya dapat dideteksi dengan cara dilabel dengan enzim, isotop, fluoropore, atau colloidal gel. Untuk mempelajari morfologi sel, sel dalam jaringan difiksasi kemudian divisualisasikan dengan mikroskop electron atau mikroskop cahaya, untuk divisualisasikan hasil interaksi antara antigen dan antibodi dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, dimana cara yang paling sering digunakan adalah dengan konjugasi antibodi dengan enzim seperti peroksidase. Selain itu juga bisa digunakan fluoropore seperti fluorosein atau rhodamin. Untuk mempelajari morfologi sel, sel dalam jaringan difiksasi kemudian divisualisasikan dengan mikroskop electron atau mikroskop cahaya (Rantam, 2003).

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 (+ + +), sedang positif yang ditunjukkan oleh berkisar dari coklat gelap ke terang coklat (+ +), dan positif lemah yang ditunjukkan oleh coklat kemerahan (+) (Irvan, 2007 dalam Hertika *et al.*, 2014 ).

Menurut Hertika *et al.*, (2014), kepadatan adalah satuan seberapa dekat zat dengan yang lain dan diukur dengan jumlah zat (massa) per satuan volume. Unit pengukuran, oleh karena itu, adalah massa per satuan volume atau biasanya dinyatakan dalam gram / cm<sup>3</sup> atau nomor sel / ml. Kepadatan metallothionein adalah kuantitas biofisik yang memiliki hubungan langsung dengan penentuan nomor MT per lebar cakupan. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa MT dinyatakan dengan munculnya blok coklat pada insang

dan interior jaringan rongga kerang Taiwan. Kecerahan atau kegelapan blok coklat menunjukkan tingkat viskositas MT. Tingkat ini berguna untuk mengukur kepadatan dan intensitas blok coklat. Penelitian menyimpulkan bahwa kepadatan MT dan intensitas kerang taiwan disajikan dalam rongga interior yang lebih tinggi dibandingkan dengan insang. Rata-rata kepadatan MT dan Intensitas meningkat dengan peningkatan dosis paparan. Kenaikan tertinggi ditemukan di  $\text{PbNO}_3$  dosis paparan 30 ppm, tetapi menurun pada dosis 40 ppm.

## 2.6 Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa lebih besar dari  $5 \text{ gr/cm}^3$ , 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 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 metabolisme tubuh. Akan tetapi, dapat berpotensi menjadi racun jika konsentrasi dalam tubuh berlebih. Logam berat menjadi berbahaya disebabkan system 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). Rumimohtarto (1991) menambahkan 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.

### 2.6.1 Timbal (Pb)

Menurut Reilly (1991), timbal atau timah hitam adalah sejenis logam berwarna coklat dengan nomor atom 82, berat atom 207.19, titik leleh  $327,5^{\circ}\text{C}$ , titik didih  $1725^{\circ}\text{C}$  dan berat jenis 11.4 gr/ml. Timbal mudah dimumikan 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 bisa berasal dari pengikisan batuan mineral, hasil pelapukan kimiawi dari perapian, presipitasi dan jatuhnya atmosfer, tumbuhan yang membusuk dan hewan yang terakumulasi logam berat. Adapun yang berasal dari aktifitas manusia antara lain berupa limbah industri ataupun limbah rumah tangga (Fardiaz, 1992). Logam berat Pb yang mencemari lingkungan utamanya berasal dari penggunaan bahan bakar oleh hampir 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 tetraethyl lead (TEL). Namun dalam proses pembakaran, timbal dilepas kembali bersama-sama sisa pembakaran lainnya ke udara sehingga nantinya akan mencemari lingkungan (Widyanigrum *et al.*, 2007).

### 2.6.2 Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang termasuk dalam kelompok transisi metal pada tabel periodik unsur kimia. Cd memiliki nomor atom 48 dengan berat atom 112.42 dan massa jenis sebesar 8,65 gr/ml (Fitriyah, 2007). Kadmium (Cd) biasanya jarang sekali ditemukan di alam dalam bentuk bebas. Keberadaanya di alam biasanya terdapat pada berbagai jenis batuan, tanah, batubara dan minyak. Kadmium (Cd) dapat terikat pada protein dan molekul organik lainnya dan membentuk garam dengan asam-asam organik (Fergusson, 1991).

Lu (2006) menyatakan logam kadmium (Cd) memiliki sifat dan kegunaan antara lain:

1. Kadmium mempunyai sifat tahan panas sehingga bagus untuk campuran pembuatan bahan-bahan keramik, enamel dan plastik.
2. Tahan terhadap korosi sehingga bagus untuk melapisi pelat besi dan baja.

Effendi (2003) menambahkan bahwa Cd 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, Cd terdapat dalam jumlah yang sedikit (renik) dan bersifat tidak larut dalam air. Sumber alami kadmium adalah greenockite (CdS), Hawleyite, Sphalerite dan otavite

### 2.6.3 Merkuri (Hg)

Merkuri merupakan logam berat bernomor atom 80 dengan berat atom 200.59, titik didih 356.9° C dan massa 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 (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 dan turunannya mempunyai sifat yang sangat beracun, sehingga kehadirannya di lingkungan perairan dapat mengakibatkan kerugian pada manusia karena sifatnya yang mudah larut dan terikat dalam jaringan tubuh organisme air. Pencemaran merkuri diperairan mempunyai pengaruh terhadap ekosistem setempat yang disebabkan oleh sifatnya yang stabil dalam sedimen, kelarutannya yang rendah dalam air dan kemudahannya diserap dan terkumpul dalam jaringan tubuh organisme air, baik melalui proses *bioaccumulation* maupun *biomagnification* yaitu melalui *food chain* (Kristiyanti, 2008).

## **2.7 Kualitas Fisika dan Kimia Air**

### **2.7.1 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).

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 air dapat mempengaruhi kehidupan biota air secara tidak langsung, yaitu melalui pengaruhnya terhadap kelarutan oksigen dalam air. Semakin tinggi suhu air, semakin rendah daya larut oksigen di dalam air, dan sebaliknya. Kisaran suhu optimal untuk pertumbuhan kerang bakau (*Crassostrea sp.*) berkisar antara 25 – 32 ° C (Tancung, 2005).

### 2.7.2 pH

Nilai pH menyatakan konsentrasi ion hydrogen dalam suatu larutan, didefinisikan sebagai logaritma dari aktivitas ion hydrogen dan secara matematis dinyatakan sebagai  $pH = \log 1/H^+$ , dimana  $H^+$  adalah banyaknya ion hydrogen dalam mol per liter larutan. Kemampuan air untuk mengikat atau melepaskan sejumlah ion hydrogen 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 tela memenuhi syarat untuk dilepas ke lingkungan (Yusuf, 2008).

Effendi (2000) 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. Sedangkan pH optimal untuk pertumbuhan kerang bakau (*Crassostrea sp*) berkisar antara 6 – 9 (Tancung, 2005).

### 2.7.3 Oksigen Terlarut

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).

Oksigen terlarut 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).

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. Sedangkan oksigen terlarut optimal untuk pertumbuhan kerang bakau (*Crassostrea sp*) berkisar antara 3–6 ppm (Tancung, 2005).

#### 2.7.4 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 Arrignon (2003) menjelaskan 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.

### 2.7.5 Salinitas

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 masukkan air tawar yang berasal dari sungai, khususnya pada wilayah perairan panatai yang dekat dengan muara. 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).

Menurut Maslukah (2006), adanya pengaruh 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 Salinitas yang optimal bagi pertumbuhan kerang bakau (*Crassostrea sp*) berkisar antara 15-35 ppt (Tancung, 2005).

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Materi Penelitian

Materi dalam penelitian ini adalah densitas dan intensitas metallothionein pada jaringan lambung tiram *Crasostrea iredalei* dari pantai Talang Siring Pamekasan Madura.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan penelitian terlampir pada **lampiran 1**.

#### 3.3 Metode Pengumpulan Data

##### 3.3.1 Pengumpulan Data

Metode pengambilan data yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Survei. Metode survei adalah penyelidikan yang diadakan untuk memperoleh fakta-fakta. Dalam metode survei juga dikerjakan evaluasi serta perbandingan terhadap hal-hal yang telah dikerjakan orang dalam menangani masalah serupa sehingga hasilnya dapat digunakan dalam pembuatan rencana dan pengambilan keputusan di masa datang.

Dalam penelitian ini, peneliti mengamati kandungan metallothionein pada lambung tiram dari beberapa penentuan stasiun di pantai Talang Siring yang diduga telah tercemar dengan mengambil tiram dari lokasi tersebut kemudian dibedah dan diambil lambungnya kemudian dilakukan pengamatan dengan teknik imunohistokimia untuk mengetahui densitas dan intensitas metallothionein. Selain itu pengamatan kualitas air laut pada saat sampling untuk mengetahui hubungan densitas dan intensitas metallothionein pada lambung tiram.

##### 3.3.2 Penentuan Stasiun

Pengambilan sampel tiram dilakukan di 3 Stasiun, yaitu stasiun 1 terletak di daerah mangrove, stasiun 2 terletak di area wisata, stasiun 3 terletak di area

penangkapan. Stasiun 1 merupakan daerah mangrove yang berdekatan dengan lokasi tambak udang vannamei dan run off. Stasiun 2 merupakan daerah wisata dimana banyak aktifitas manusia berlangsung, dan juga sebagai tempat kapal bersandar. Stasiun 3 merupakan area dimana banyak berlangsung aktifitas penangkapan.

Pemilihan lokasi-lokasi tersebut didasarkan pada dugaan jenis cemaran yang berasal dari sumber buangan limbah yang berbeda. Misalnya pada stasiun 1 diduga cemaran berasal dari limbah rumah tangga dan limbah tambak udang vanamei. Sedangkan stasiun 2 diduga cemaran berasal dari limbah oli buangan mesin kapal, atau limbah perbaikan kapal, untuk stasiun 3 diduga limbah pencemar berasal dari bagan tancap yang banyak terdapat di stasiun 3, dimana pada malam hari bagan tancap menggunakan lampu petromak untuk beroperasi.



**Gambar 3.** Penentuan Letak Stasiun (Google Earth, 2014)

### 3.4 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. Dari 3 stasiun tersebut, masing-masing titik diambil 3 sampel tiram, jadi banyak sampel keseluruhan berjumlah 9 sampel. parameter pendukung yang diukur antara lain yaitu suhu, pH, Oksigen terlarut, dan salinitas. 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 betel, sedangkan palu digunakan untuk memudahkan betel pada saat pencongkelan biota saat air surut.

### **3.5 Analisa Sampel Metode Imunohistokimia**

#### **3.5.1 Preparasi Sampel**

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

- 1) Tiram *Crassostrea iredalei* diambil pada stasiun yang telah di tentukan.
- 2) Tiram *Crassostrea iredalei* dibersihkan dengan air yang mengalir hingga bersih dari lumpur dan parasit.
- 3) Kemudian tiram *Crassostrea iredalei* yang telah dibersihkan dimasukkan kedalam wadah kantong plastik ukuran 1 kg.
- 4) Selanjutnya kantong plastik yang telah terisi tiram *Crassostrea iredalei* diikat dengan karet gelang kemudian diberi label dan keterangan untuk menandai biota agar tidak tertukar.
- 5) Setelah itu, dimasukkan kedalam cool box yang berisi es batu dalam kemasan agar biota tidak membusuk saat di perjalanan.

- 6) Selanjutnya tiram *Crassostrea iredalei* diberi perlakuan di Laboratorium Ichthyologi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya Malang.

### 3.5.2 Pembuatan Irisan Jaringan

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) Diambil organ yang telah difiksasi.
  - 2) Jaringan dipotong dengan ketebalan 0,3-0,5 mm
  - 3) Jaringan disusun kedalam *tissue cassette* sesuai dengan kode.
  - 4) Dimasukkan *tissue cassette* ke dalam keranjang khusus.
- c. **Proses Dehidrasi**
  - 1) Keranjang dimasukkan ke dalam 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) Diletakkan keranjang di dalam mesin vakum untuk penghilangan udara dari jaringan dengan temperatur (50-60°C) selama 30 menit.
  - 2) Keranjang diambil dan dikeluarkan *tissue cassette*.
- e. **Pengeblokan**
  - 1) Dihangatkan parafin cair, pinset dan cetakan.

- 2) Parafin cair dituangkan ke dalam cetakan.
- 3) Jaringan dari *Tissue Tex Prosesor* dimasukkan kedalam cetakan yang telah diisi parafin cair, tekan jaringan agar semakin menempel di dasar cetakan.
- 4) Tutup cetakan diambil, letakkan di atasnya dan di tekan. Pasang etiket di pinggir.
- 5) Biarkan sampai membeku.
- 6) Setelah beku, keluarkan dari cetakan. Rapikan sisi-sisi blok. Ganti etiket dengan yang permanen.
- 7) Disimpan di *freezer*.

f. **Pemotongan dengan Mikrotom**

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

**3.5.3 Pewarnaan Imunohistokimia**

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

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

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

### 3.5.4 Scan dengan Mikroskop Olivia

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

#### a. Fungsi Scan:

- 1) Nyalakan seluruh power, mikroskop, CPU, layar monitor dan power server.
- 2) Tunggu sampai proses loading selesai.
- 3) Setelah komputer siap, klik 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 multiscan (lebih dari satu slide).
- 7) Salah satu kotak pilihan di klik sesuai dengan kebutuhan.
- 8) Klik manual load tataan slide mikroskop akan lebih menonjol ke depan.
- 9) Letakkan slide pada papan slide dengan benar dan klik OK.
- 10) Klik next.
- 11) Pilih perbesaran yang akan discan sesuai dengan kebutuhan.
- 12) Klik scan now untuk memulai proses scan.
- 13) Ditunggu proses scan sampai selesai.
- 14) Setelah selesai, klik file-save as- di pojok kiri atas dan di masukkan folder dan diberi nama file sesuai dengan keinginan.

#### b. Fungsi Foto

- 1) Pilih menu live.
- 2) Atur menggunakan joystick sesuai gambar objek yang dimaksud.
- 3) Atur focus di joystick, setelah focus sempurna sesuai dengan yang dimaksud kemudian klik Snapshot.
- 4) Klik file-save as- di pojok kiri atas dan di masukkan folder dan diberi nama file sesuai dengan keinginan.

### 3.5.5 Perhitungan Densitas dan Intensitas

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

#### a. Manual

- 1) Menyalakan komputer
- 2) Menunggu sampai proses loading selesai
- 3) Setelah komputer siap, buka 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

- olyVIA
  - 1) Menyalakan komputer
  - 2) Tunggu sampai proses loading selesai
  - 3) Buka perangkat lunak olyVIA
  - 4) Buka 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) Buka paint
  - 3) Klik copy display to clipboard untuk memindah gambar
  - 4) Pada paint, pilih paste
  - 5) Pilih save as untuk menyimpan gambar

- ImageJ
  - 1) Buka 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) Buka imageJ
  - 5) Pilih 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, didapatkan hasil jumlah MT pada gambar

### 3.5.6 Analisis Intensitas metallothionein

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

- olyVIA
  - 1) Menyalakan komputer
  - 2) Tunggu sampai proses loading selesai
  - 3) Buka perangkat lunak olyVIA
  - 4) Buka 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) Buka paint

- 3) Klik copy display to clipboard untuk memindah gambar
- 4) Pada paint, pilih paste
- 5) Pilih save as untuk menyimpan gambar
- imageJ
  - 1) Buka imageJ
  - 2) Pilih 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) Tekan M pada keyboard untuk mengetahui hasil ukuran warna

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

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

- 1) Menimbang masing-masing sampel padat  $\pm 15$  gr dengan timbangan Sartorius untuk mendapatkan berat basah.
- 2) Mengoven sampel padat pada suhu  $\pm 105$  °C selama 3-5 jam sampai mendapat berat konstan.
- 3) Menimbang berat konstan dengan timbangan Sartorius sebagai berat kering.
- 4) Memasukkan sampel yang sudah kering ke dalam *beaker glass* 100 ml.
- 5) Menambahkan HNO<sub>3</sub> dengan perbandingan 1:1 (HNO<sub>3</sub>:HCL) sebanyak  $\pm 10-15$  ml.
- 6) Memanaskan diatas *hot plate* di dalam kamar asam sampai  $\pm 3$  ml.

- 7) Menyaring dengan kertas saring ke dalam labu ukur 50 ml.
- 8) Mengulang proses penyaringan sampai tanda batas labu ukur dengan terlebih dahulu menambahkan 15 ml aquades ke dalam *beaker glass*.  
Tempat sampel.
- 9) Menganalisis sampel dengan menggunakan mesin *Atomic Absorbstion Spectrophotometer* (AAS) pada panjang gelombang 283,3 nm.
- 10) Menyiapkan larutan standar.
- 11) 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.

### 3.7 Analisa Kualitas Air

#### 3.7.1 Parameter Fisika

##### a. Suhu

Menurut Subarijanti (1990), prosedur pengukuran suhu menggunakan Termometer Hg adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan thermometer Hg ke dalam perairan dengan membelakangi matahari, dan ditunggu beberapa saat sampai air raksa dalam thermometer berhenti pada skala tertentu
2. Mencatat dalam skala °C
3. Membaca skala pada saat thermometer masih di dalam air, dan jangan sampai tangan menyentuh bagian air raksa thermometer

### 3.7.2 Parameter Kimia

#### a. Oksigen Terlarut (DO)

Prosedur pengukuran oksigen terlarut di lakukan dengan cara Wingkler 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  $H_2SO_4$  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 :

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

Keterangan :

v : ml larutan Natrium Thiosulfat untuk titrasi

N : Normalitas larutan Natrium thiosulfat

V : Volume botol DO

**b. Salinitas**

Menurut SNI (1990), prosedur pengukuran salinitas dengan menggunakan Refraktometer adalah sebagai berikut :

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

**c. Total Organik Matter (TOM)**

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

- 1) Memasukkan 50 ml air sampel ke dalam Erlenmeyer
- 2) Menambahkan 9,5 ml  $\text{KMnO}_4$  dari buret dan ditambahkan 10 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- 3) Dipanaskan di atas water bath sampai suhu mencapai  $70\text{-}80^\circ\text{C}$  kemudian angkat
- 4) Bila suhu telah turun menjadi  $60\text{-}70^\circ\text{C}$  langsung tambahkan Na-oxalate 0,01 N perlahan sampai tidak berwarna
- 5) 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)
- 6) 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

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

### 3.8 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 iredalei* 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 lambung tiram *Crassostrea iredalei* yang diambil dari perairan Pantai Talang Siring, 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 iredalei*)

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. 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.



**Gambar 4.** Lokasi Pantai Talang Siring (Google Earth, 2014)

Batas wilayah pantai Talang Siring sebelah utara Desa Lancar dan Desa Ta'aban sebelah selatan Kecamatan Galis dan Kecamatan Larangan sebelah timur Selat Madura sebelah barat Desa Panaguan. 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).

## 4.2 Deskripsi Stasiun Pengamatan

### 4.2.1 Stasiun 1

Stasiun 1 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 menghasilkan emisi gas kendaraan bermotor yang dapat menambah kandungan logam berat di kawasan mangrove ini.



**Gambar 5.** Lokasi stasiun 1

#### **4.2.2 Stasiun 2**

Stasiun 2 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 6.** Lokasi Stasiun 2

#### 4.2.3 Stasiun 3

Stasiun 3 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 7.** Lokasi Stasiun 3

### 4.3 Sebaran Ukuran Sampel Tiram

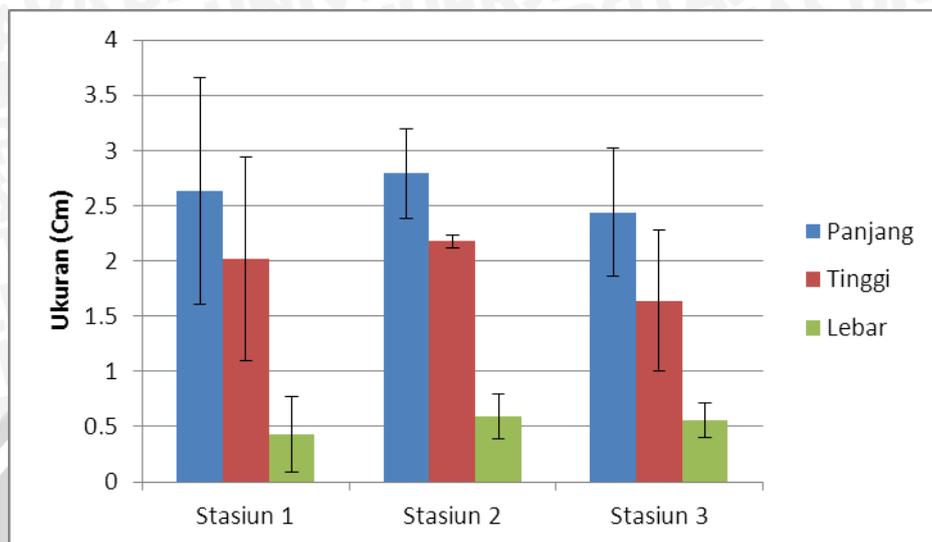
Dari hasil penelitian diketahui Sebaran ukuran sampel yang didapat pada saat penelitian yaitu dengan cara mengukur panjang, lebar dan tinggi dari cangkang tiram *Crasostrea iredalei* sebanyak 3 kali ulangan dalam masing-masing stasiun. Rata-rata ukuran sampel tiram *Crasostrea iredalei* yang didapatkan pada masing-masing stasiun berbeda-beda. Data hasil pengamatan ukuran sampel tiram *C. iredalei* pada stasiun 1, 2, dan 3 dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1.** Data Ukuran Rata-rata Sampel Tiram *C. iredalei*

STASIUN	PANJANG (CM)	TINGGI (CM)	LEBAR (CM)
I	2,63	2,02	0,44
II	2,79	2,18	0,59
III	2,44	1,64	0,56

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata panjang, lebar dan tinggi terbesar pada stasiun 2 dengan nilai panjang 2,79 cm, tinggi 2,18 cm, dan lebar 0,59 cm, sedangkan ukuran tiram terkecil pada stasiun 3 dengan nilai panjang 2,44 cm, tinggi 1,64 cm, dan lebar 0,56 cm. Hal ini dikarenakan jumlah bahan organik sebagai makanan tiram pada stasiun ini tergolong tinggi, dimana ukuran tiram dipengaruhi oleh jumlah makanan yang tersedia di habitatnya. Menurut Djawad dan Bertha (2009), menyatakan bahwa tiram merupakan organisme yang mampu menyerap setiap partikel maupun bahan organik yang terdapat pada badan air. Hasil perhitungan Standart Deviasi (SD) panjang tiram pada stasiun 1, 2, dan 3 berturut-turut SD  $\pm$  1,02, stasiun 2 SD  $\pm$  0,40 dan stasiun 3 SD  $\pm$  0,58. Standart Deviasi (SD) tinggi tiram pada stasiun 1, 2, dan 3 berturut-turut SD  $\pm$  0,92 stasiun 2 SD  $\pm$  0,05 dan stasiun 3 SD  $\pm$  0,63 sedangkan Standar Deviasi lebar tiram stasiun 1 SD  $\pm$  0,34 stasiun 2 SD  $\pm$  0,2

dan stasiun 3  $SD \pm 15$  cm. Perbedaan sebaran ukuran Tiram *C. iredalei* pada setiap stasiun dapat diilustrasikan pada Gambar 8 berikut :



**Gambar 8.** Grafik Rata-rata Ukuran Tiram *C. iredalei*

Ukuran tiram dari masing-masing stasiun berbeda-beda, dimana ukuran rata-rata tiram paling besar berada di stasiun 2, dan ukuran tiram terkecil berada di stasiun 3. Ukuran tiram yang besar dikarenakan bahan organik yang terdapat di stasiun 2 lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 1 dan stasiun 3. Tingginya bahan organik ini akan diikuti oleh pertumbuhan fitoplankton, sehingga tiram dapat dapat berkembang dengan baik seiring dengan terpenuhinya makanan yang dibutuhkannya. Hal ini sesuai menurut pendapat Simanjuntak (2009), zat hara yang merupakan bahan makanan bagi fitoplankton umumnya di peroleh dari daratan sekitarnya dan berasal dari berbagai limbah industri. Fitoplankton merupakan komponen utama rantai makanan bagi biota laut sehingga keberadaan zat hara dan fitoplankton merupakan salah satu indikator kesuburan perairan.

Ramon dan Richardson (1992), menyatakan bahwa ukuran tiram sekaligus merepresentasikan usia dari tiram, yang biasanya dapat dilihat melalui ukuran cangkang sekaligus jumlah *bend* yang terdapat pada cangkang tiram

tersebut. Djawad dan Bertha (2009), menambahkan ukuran tiram yang berbeda-beda mempengaruhi kemampuan tiram dalam memfilter air yang masuk ke dalam tubuhnya. Akumulasi logam berat yang tinggi, diduga akibat besarnya ukuran tiram. Tingginya daya serap tiram sangat dipengaruhi pula bukaan cangkangnya saat penyerapan sangat tinggi, sehingga daya memompa air yang akan dikeluarkan juga semakin besar.

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. 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 dan ekosistem perairan sehingga terjadilah proses biomagnifikasi.

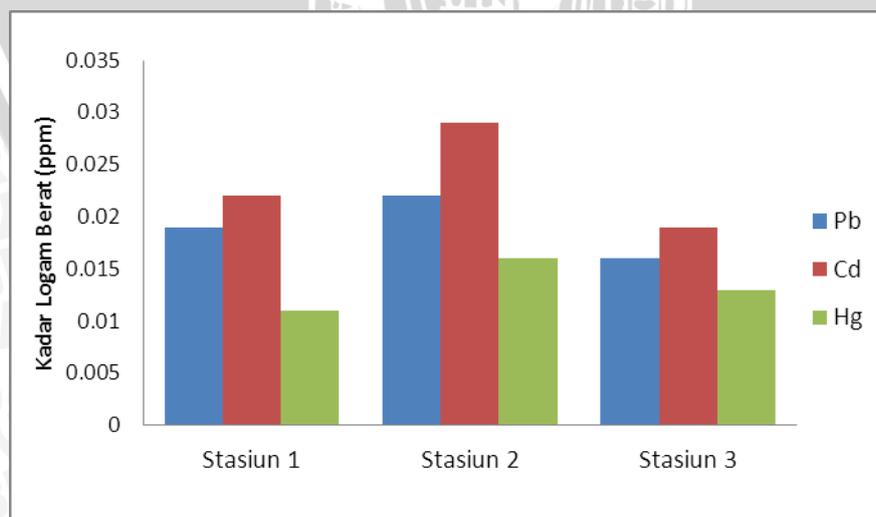
Ukuran tiram juga akan mempengaruhi kadar metallothionein pada tiram tersebut. Selain itu umur tiram juga sangat berpengaruh terhadap daya akumulasi logam berat yang ada di lingkungannya. Diduga semakin besar ukuran tiram (tua), semakin banyak tiram tersebut menyerap logam berat dan semakin banyak pula produksi metallothionein yang dihasilkan oleh tiram tersebut. Hal ini sesuai menurut Amiard *et al.* (2006) bahwa metabolisme dan ukuran tiram sangat mempengaruhi terhadap kandungan metallothionein pada tiram tersebut, dimana semakin besar ukuran tiram maka kadar metallothionein juga semakin tinggi. Begitu juga Isani dan Carpena (2014), mengatakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kadar metallothionein dalam tiram yaitu umur tiram.

Tingkat kemampuan individu untuk menyaring dan mengekskresikan logam yang ada dalam tubuhnya berbeda-beda. Faktor-faktor yang

mempengaruhi konsentrasi dan akumulasi logam antara lain *bioavailability* logam, ukuran dan berat, dan komposisi jaringan (Boyden & Philips, 1981 dalam Otchere, 2003). Konsentrasi logam pada kelompok kerang-kerangan dalam satu lokasi yang sama berbeda antara individu satu dengan individu yang lain. Hal ini tergantung kemampuan/kapasitas masing-masing individu untuk mengakumulasi logam (Reinfelder, *et al.*, 1997 dalam Otchere, 2003). Semakin besar ukuran tubuhnya (semakin tua) maka kandungan logam berat dalam tubuh juga akan semakin meningkat. Terjadinya peningkatan ini dikarenakan logam berat yang masuk kedalam tubuhnya akan terus diakumulasi (Prasetyo, 2009).

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

Kadar logam berat Pb, Cd dan Hg pada perairan pantai Talan Siring di ketiga stasiun menunjukkan hasil yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan adanya perbedaan karakteristik maupun sumber bahan pencemar dari tiap stasiun pengamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 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 9 berikut.



**Gambar 9** . Grafik Kadar Logam Berat Pb, Cd, Hg di Pantai Talang Siring.

Berdasarkan grafik di atas, kadar logam berat Pb di perairan pantai Talang Siring pada stasiun 1 sebesar 0,019 ppm, pada stasiun 2 sebesar 0,022 ppm dan pada stasiun 3 sebesar 0,016 ppm. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kadar Pb tertinggi terdapat pada stasiun 2 dan kadar Pb terendah terdapat pada stasiun 3. Tingginya kadar Pb di stasiun 2 disebabkan karena pada lokasi ini banyak terdapat aktivitas kapal motor nelayan yang melintas maupun yang sedang bersandar untuk pergantian oli sehingga dapat menghasilkan limbah logam berat Pb. 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 stasiun 1 sebesar 0,022 ppm, pada stasiun 2 sebesar 0,029 ppm dan pada stasiun 3 sebesar 0,019 ppm. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kadar Cd tertinggi terdapat pada stasiun 2 dan kadar Cd terendah terdapat pada stasiun 3.

Tingginya kadar Pb di stasiun 2 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 Kementrian 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 stasiun 1 sebesar 0,011 ppm, pada stasiun 2 sebesar 0,016 ppm dan pada stasiun 3 sebesar 0,013 ppm. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kadar Cd tertinggi terdapat pada stasiun 2 dan kadar Cd terendah terdapat pada stasiun 1. Tingginya kadar Pb di stasiun 2 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

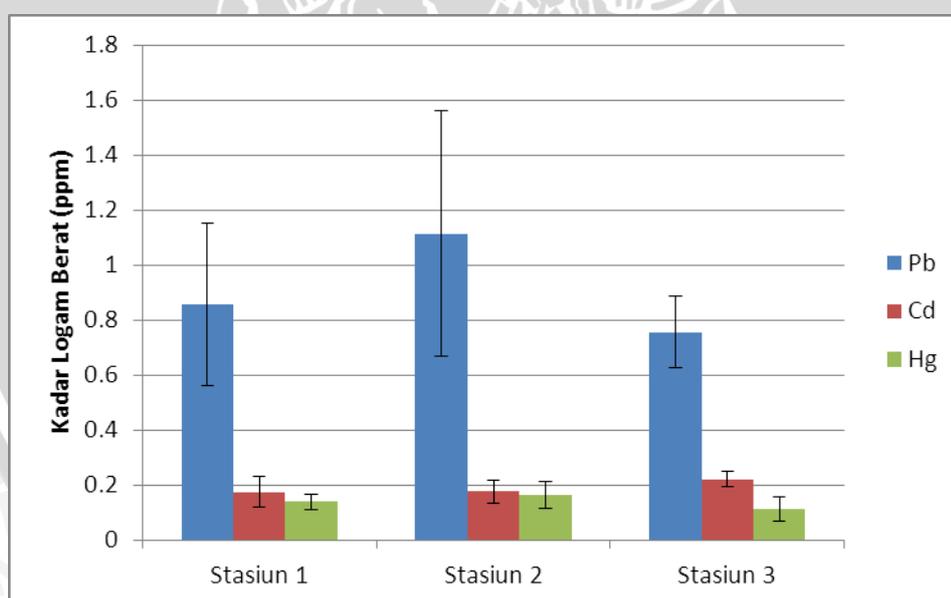
sehingga dapat menghasilkan limbah logam berat Hg. Hal ini sesuai dengan yang disampaikan oleh Eckenfelder (1989) bahwa senyawa merkuri banyak digunakan dalam pembuatan cat, senyawa anti karat, komponen listrik, ekstraksi emas dan perak, baterai dan juga elektronik. Secara keseluruhan, kadar logam berat Hg pada perairan pantai Talang Siring di tiga stasiun berkisar antara 0,011 – 0,016 ppm, hal ini menunjukkan bahwa kadar logam berat Cd 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 Lambung Tiram *C. iredalei*

Kadar logam berat Pb, Cd dan Hg dalam penelitian ini diukur kadarnya pada sampel lambung tiram *C. iredalei* yang masing-masing diambil dari ketiga stasiun. Pengukuran kadar logam berat (Pb, Cd, Hg) dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya. Berdasarkan pengamatan dapat diketahui kadar logam berat pada lambung tiram menunjukkan hasil yang berbeda-beda tiap stasiun, sebagaimana ditunjukkan melalui grafik pada Gambar 10 berikut :



**Gambar 10.** Grafik rata-rata Kadar Logam Berat (Pb, Cd, Hg) pada lambung Tiram

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa pada lambung tiram *C.iredalei* yang diambil dari stasiun 1 mengakumulasi logam berat Pb 0,856 ppm, Cd 0,174 ppm dan Hg 0,139 ppm. Sementara tiram pada stasiun 2 mengakumulasi logam

berat Pb 1,143 ppm, Cd 0,176 ppm, dan Hg 0,164 ppm. Sedangkan tiram pada stasiun 3 mengakumulasi logam berat Pb 0,75 ppm, Cd 0,22 ppm, dan Hg 0,113 ppm. Hasil perhitungan standart deviasi (SD) Pb pada stasiun 1 SD  $\pm$  0,29 stasiun 2 SD  $\pm$  0,44 dan stasiun 3 SD  $\pm$  0,13. Standart deviasi (SD) Cd pada stasiun 1 SD  $\pm$  0,05 stasiun 2 SD  $\pm$  0,04 dan stasiun 3 SD  $\pm$  0,02. Sedangkan standart deviasi untuk Hg pada stasiun 1 SD  $\pm$  0,02 stasiun 2  $\pm$  0,04 dan stasiun 3 SD  $\pm$  0,02. Menurut Direktorat Jendral Pengawasan Obat dan Makanan (POM) No. 03725/B/SK/VII/89 dalam Wulandari *et al.* (2012), batas maksimum cemaran logam berat dalam bahan pangan, untuk Hg adalah 0,5 mg/l, Cd 1 mg/l dan Pb 2 mg/l. Sehingga dapat dikatakan bahwa logam berat Pb, Cd dan Hg pada tiram *C. iredalei* di perairan Pantai Talang Siring masih berada dibawah ambang batas.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tiram yang diambil dari ketiga stasiun lebih banyak mengakumulasi logam berat Pb dibandingkan Cd maupun Hg. Hasil penelitian Cahyanurani (2014) yang dilakukan di lokasi Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Campurejo Kabupaten Gresik juga menunjukkan hasil yang serupa dimana tiram *Crassostrea iredalei* mampu mengakumulasi logam berat Pb lebih banyak yaitu sebesar 0,393 – 0,710 ppm dibandingkan Cd 0,086 – 0,190 ppm serta Hg 0,217 – 0,360 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.

Akumulasi Pb dalam kerang terjadi karena bioakumulasi Pb dalam jaringan lunak kerang, sehingga Pb akan terakumulasi pada jaringan lunak kerang. Unsur logam masuk ke dalam tubuh biota laut melalui 3 cara, yaitu rantai makanan, insang, dan difusi melalui permukaan kulit. Hubungan antara peningkatan konsentrasi Pb dengan kenaikan tingkat bioakumulasi Pb pada jaringan lunak kerang akan menunjukkan hubungan linear. Apabila hal tersebut

terjadi di perairan, berarti semakin tinggi ketersediaan logam Pb di perairan, maka semakin tinggi pula tingkat bioakumulasinya (Prasetya *et al.*, 2011). Kandungan Pb dalam kerang hijau meningkat dengan bertambahnya ukuran tiram. Kenaikan kandungan Pb diduga dipengaruhi oleh naiknya konsentrasi Pb di perairan serta kecenderungan kerang untuk mengakumulasi Pb. Kandungan Cd cenderung stabil dengan bertambahnya ukuran. Fluktuasi kandungan Cd tidak terlalu nyata (Ningtias, 2002).

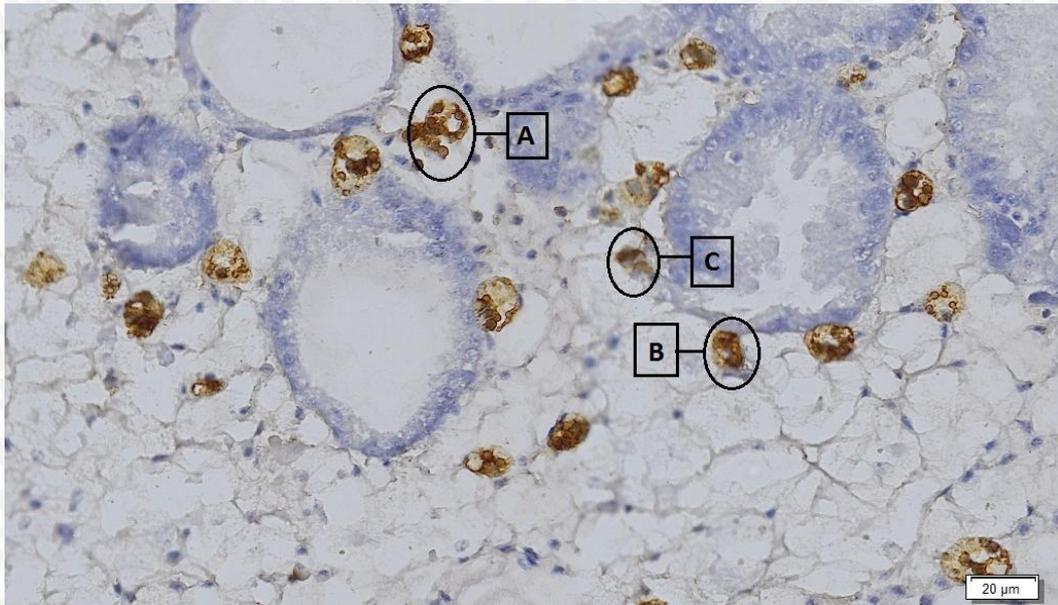
Konsentrasi logam Cd terlarut cenderung stabil diduga karena pengaruh arus dan pasang surut yang menyebabkan konsentrasi logam Cd terlarut menyebar merata. Secara umum konsentrasi logam Cd terlarut cenderung stabil walaupun terjadi penambahan salinitas. Tingginya konsentrasi Cd disebabkan oleh aktivitas manusia melalui limbah kota dan docking kapal (Sembel, 2011). Berdasarkan penelitian Andrew *et al.* (2014), Kandungan Pb, Cu, Zn pada *P. viridis* berdasarkan bagian tubuh memiliki kandungan logam berat yang berbeda-beda. Perbedaan kecepatan laju metabolisme, penyerapan makanan dan bahan-bahan organik kemungkinan menjadi penyebabnya. Setiap organ tubuh kerang mempunyai peran yang berbeda baik dalam fungsi metabolisme atau fisiologisnya, yang dapat mempengaruhi distribusi logam dalam jaringan yang berbeda dari kerang, akibatnya proses detoksifikasi logam juga bisa berbeda.

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 (Apriadi, 2005).

#### 4.6 Ekspresi Mettalothoniein Pada Lambung Tiram *Crasosstrea iredalei* Dengan Teknik Imunohistokimia

Metallothionein (MT) merupakan protein dengan massa molekul rendah (6/7 kDa; 57/75 asam amino), sistein yang tinggi protein (18/20 sistein per molekul), asam amino aromatik rendah, kandungan ini dibedakan oleh konten yang sangat tinggi dari  $d^{10}$  ion logam ( $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  dan  $Cu^{+}$ ) membentuk karakteristik logam atau kelompok tiolat melalui atom belerang dari semua kelompok sistein yang menyusun protein. MT adalah protein sitosol yang ditemukan pada beberapa organisme prokariotik dan eukariotik termasuk vertebrata, invertebrate, dan tumbuhan (Simes *et al.*, 2003).

Hasil pewarnaan yang dilakukan dengan metode imunohistokimia pada lambung tiram *Crasosstrea iredalei* yang terdapat pada tiga stasiun dengan sumber pencemar berbeda menunjukkan bahwa metallothionein yang terekpresi tergambar dalam blok-blok berwarna coklat. Menurut Irvan (2007), blok warna coklat tersebut dapat dibagi dalam tiga tingkatan intensitas warna untuk reaksi positif. Reaksi positif terdiri dari positif kuat yang ditunjukkan dengan warna coklat tua sampai kehitaman (+++), positif sedang yang ditunjukkan dengan warna coklat tua muda (++) dan positif lemah yang ditunjukkan dengan warna coklat yang bercampur biru (+). Semakin tua warna coklat yang terlihat menunjukkan semakin banyak jumlah metallothionein yang terekpresi dan semakin tinggi pula kadar logam beratnya. Tingkatan intensitas ekpresi metallothionein dapat dilihat pada gambar 11.



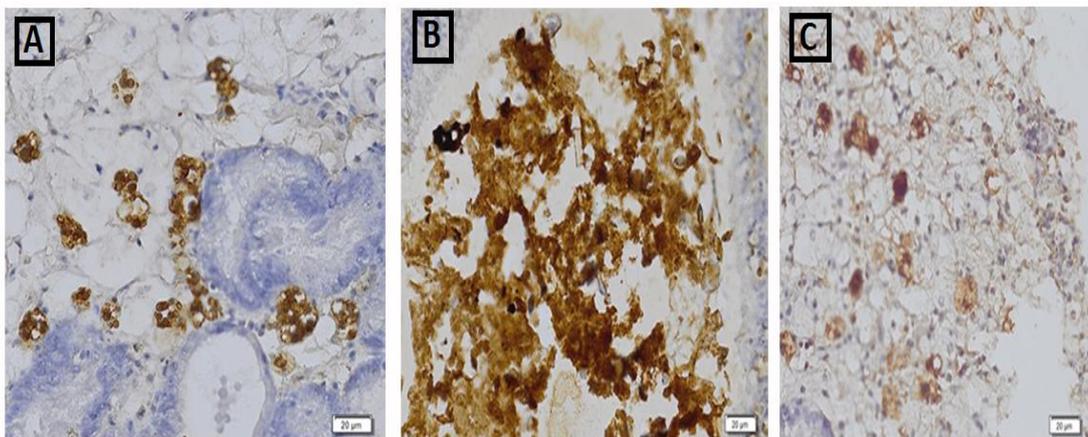
**Gambar 11** . Ekspresi Metallothionein skala 20 $\mu$ m (A) Positif Kuat (B) Positif Sedang (C) Positif Lemah

Menurut Larasati (2010), Imunohistokimia merupakan suatu proses identifikasi protein spesifik pada jaringan atau sel dengan menggunakan antibodi. Tempat pengikatan antara antibodi dengan protein spesifik diidentifikasi dengan marker yang biasanya dilekatkan pada antibodi dan bisa divisualisasi secara langsung atau dengan reaksi untuk mengidentifikasi marker . Marker dapat berupa senyawa berwarna, zat berfluoresensi, logam berat, label radioaktif, atau enzim. Terdapat dua metode dasar identifikasi antigen dalam jaringan dengan imunohistokimia, yaitu metode langsung (direct method) dan tidak langsung (indirect method).

Metode langsung merupakan metode pengecatan satu langkah karena hanya melibatkan satu jenis antibodi, yaitu antibodi yang terlabel, contohnya antiserum terkonjugasi fluorescein isothiocyanate (FITC) atau rodhamin. Metode ini menggunakan dua macam antibodi, yaitu antibodi primer (tidak berlabel) dan antibodi sekunder (berlabel). Antibodi primer bertugas mengenali antigen yang diidentifikasi pada jaringan (first layer), sedangkan antibodi sekunder akan berikatan dengan antibodi primer (second layer). Antibodi kedua merupakan anti-

antibodi primer. Pelabelan antibodi sekunder diikuti dengan penambahan substrat berupa kromogen. Kromogen merupakan suatu gugus fungsi senyawa kimiawi yang dapat membentuk senyawa berwarna bila bereaksi dengan senyawa tertentu. Penggunaan kromogen fluorescent dye seperti FITC, rodhamin, dan Texas-red disebut metode immunofluorescence, sedangkan penggunaan kromogen enzim seperti peroksidase, alkali fosfatase, atau glukosa oksidase disebut metode immunoenzyme.

Pewarnaan Imunohistokimia yang menghasilkan ekspresi metallothionein muncul sebagai blok warna coklat tua pada jaringan lambung tiram untuk mengikat logam berat yang terakumulasi di lambung tiram. Hasil ekspresi metallothionein yang terakumulasi di lambung tiram banyak ditemukan pada stasiun 2 yang merupakan tempat bersandarnya kapal dan tempat pariwisata, sedangkan ekspresi metallothionein yang terlihat sedikit muncul terdapat pada stasiun 1 yang merupakan daerah mangrove. Ekspresi metallothionein yang terekpresi pada ketiga stasiun dapat dilihat pada gambar 12.



**Gambar 12 .** Ekspresi Metallothionein (A) Stasiun 1 (B) Stasiun 2 (C) Stasiun 3

Proses terbentuknya warna coklat dijelaskan oleh Ramos dan Vara (2005) bahwa prinsip pewarnaan imunohistokimia metode peroksidase, yaitu antigen yang ada pada jaringan diikat dengan antibody primer yang spesifik.

Lalu antibody primer yang terikat antigen kemudian diikat pula dengan antibody sekunder (antibody primer) yang telah dilabel enzim peroksidase. Penambahan substrat yang berisi kromogen dan  $H_2O_2$  akan memunculkan endapan berwarna coklat dan  $H_2O$ . Endapan coklat merupakan hasil penguraian substrat (kromogen dan  $H_2O$ ) oleh enzim peroksidase. Warna coklat yang muncul menandakan reaksi positif (+), yang artinya didalam jaringan terdapat antigen. Apabila jaringan tersebut tidak terdapat antigen, maka tidak akan muncul warna coklat.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Irvan (2007), dijelaskan bahwa enzim antioksidan Cu, Zn-SOD jaringan hati dikenali sebagai antigen oleh antibody primer (antibody monoklonal terhadap Cu,Zn-SOD). Antigen akan diikat oleh antibody primer. Selanjutnya antibody primer akan berikatan dengan antibody sekunder yang telah dikonjugasikan dengan peroksidase (DEPS) sehingga keberadaan peroksidase ini melambangkan adanya kompleks antigen antibody. Peroksidase berfungsi mengkatalisis reaksi antara kromogen (diamino benzidine atau DAB) dan hydrogen peroksidase ( $H_2O_2$ ), sehingga terbentuk endapan berwarna coklat yang menunjukkan keberadaan SODnya. Semakin tua intensitas warna coklatnya berarti semakin banyak kandungan SODnya.

#### **4.7 Hasil Densitas dan Intensitas Metallothionein pada Lambung Tiram**

##### **4.7.1 Hasil Analisis Densitas Metallothionein pada Lambung Tiram**

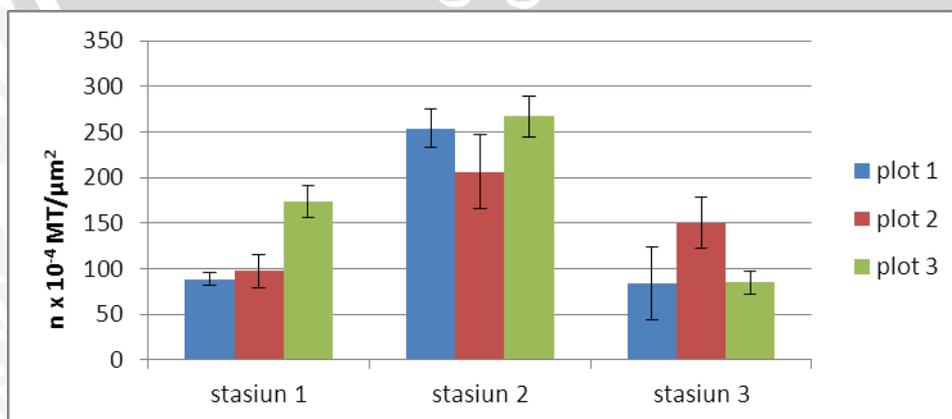
Densitas metallothionein merupakan kuantitas biofisik yang berhubungan langsung dengan penentuan jumlah metallothionein per luas lapang pandang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas metallothionein tertinggi ditemukan pada stasiun 2 yang merupakan tempat berlabuhnya kapal dan pariwisata, hasil ini sesuai dengan kandungan logam berat yang terdapat pada lambung tiram dimana pada stasiun 2 memiliki nilai tertinggi sedangkan nilai densitas metallothionein terendah pada stasiun 3. Hasil perhitungan jumlah

metallothionein disajikan pada **lampiran 4** sehingga hasil perhitungan densitas metallothionein dapat disajikan pada tabel berikut ini

**Tabel 2.** Data hasil analisis densitas metallothionein

LAPANG PANDANG	DENSITAS METALLOTHIONEIN ( $n \times 10^{-4}$ MT/ $\mu\text{m}^2$ )								
	STASIUN PENELITIAN								
	1			2			3		
I	77.9	73.8	135.3	273.9	160.4	296.9	103.6	175.2	84.8
II	80.5	112.2	171.2	238.6	235.1	241.1	74	132.6	97
III	91.2	105.9	215.1	249.4	223.5	262.9	72.8	143.3	72.6
<b>Rata-rata</b>	88.3	97.3	173.8	253.9	206.3	266.9	83.5	150.4	84.8

Dari hasil penelitian ditemukan bahwa nilai rata-rata densitas metallothionein pada stasiun 1 berkisar antara  $88,3 \times 10^{-4}$  MT/ $\mu\text{m}^2$  -  $173,8 \times 10^{-4}$  MT/ $\mu\text{m}^2$ , pada stasiun 2 berkisar antara  $206,3 \times 10^{-4}$  MT/ $\mu\text{m}^2$  -  $266,9 \times 10^{-4}$  MT/ $\mu\text{m}^2$ , dan pada stasiun 3 berkisar antara  $83,5 \times 10^{-4}$  MT/ $\mu\text{m}^2$  -  $150,4 \times 10^{-4}$  MT/ $\mu\text{m}^2$ . Hasil perhitungan standart deviasi stasiun 1 pada plot 1 berkisar SD  $\pm 7,09$  plot 2 SD  $\pm 20,5$  plot 3 SD  $\pm 39,9$ . Standart deviasi stasiun 2 pada plot 1 berkisar SD  $\pm 18,08$  plot 2 SD  $\pm 40,20$  dan plot 3 SD  $\pm 28,12$ . Sedangkan standar deviasi stasiun 3 pada plot 1 berkisar SD  $\pm 17,44$  plot 2 SD  $\pm 22,16$  dan plot 3 SD  $\pm 12,2$ . Hasil densitas metallothionein sesuai dengan respon lambung tiram terhadap penyerapan logam berat yang menunjukkan kadar logam berat dalam lambung pada stasiun 2 lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 1 dan 3. Hal ini dapat dilihat dalam grafik gambar metallothionein pada gambar 13 berikut ini.



**Gambar 13.** Grafik rata-rata Densitas Metallothionein pada Lambung Tiram

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi logam berat yang terpapar pada lambung tiram, maka semakin besar pula densitas metallothionein di dalam tubuh suatu organisme tersebut begitu juga sebaliknya. 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 stasiun 2 lebih besar bila dibandingkan dengan stasiun 1 dan 3. Menurut Amiard *et al.* (2006), ukuran tiram dapat mempengaruhi kadar metallothionein dimana semakin besar ukuran tiram maka kadar metallothionein (MT) juga semakin tinggi.

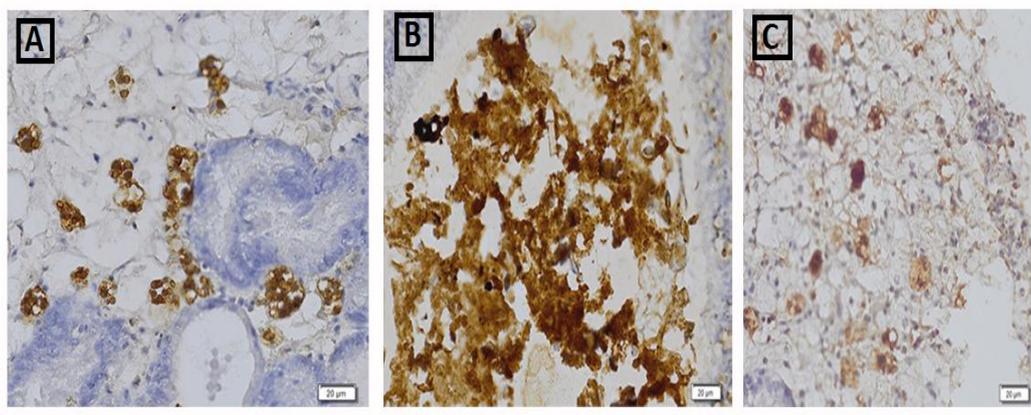
Menurut Roesijadi *et al.*, (1988) menjelaskan tingkat serapan yang lebih tinggi pada logam berat akan mencerminkan kepadatan lebih tinggi dan atau aktifitas dari system dalam sel hepatopankreas kerang. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan fakta bahwa pada insang kerang merupakan daerah utama penyerapan ion logam yang masuk melalui air yang ditandai dengan tingginya intensitas transport aktif dan pasif ion-ion logam masuk ke jaringan. Lebih lanjut Purbonegoro (2008), penyerapan logam berat oleh mikroorganisme dapat terjadi melalui 2 tahap yaitu penyerapan tahap awal sebagai penyerapan pasif dan penyerapan aktif. Penyerapan pasif terjadi ketika logam memasuki dinding sel. Di dalam penyerapan pasif ini enzim yang ada dalam dinding sel akan menyerap logam-logam yang bersifat esensial bagi tubuh.

Pada penyerapan aktif, logam berat tersebut akan ditransformasikan melalui membrane sel menuju sitoplasma. Proses masuknya logam berat ke dalam sitoplasma dapat terjadi jika logam tersebut bersifat lipofilik (mudah larut dalam lemak). 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 Lambung Tiram

Intensitas metallothionein diketahui dengan menggunakan software image J pada area 208 dengan lebar 16 dan tinggi 16. Hasil pengamatan intensitas metallothionein pada lambung tiram ditunjukkan pada gambar 14 berikut ini.



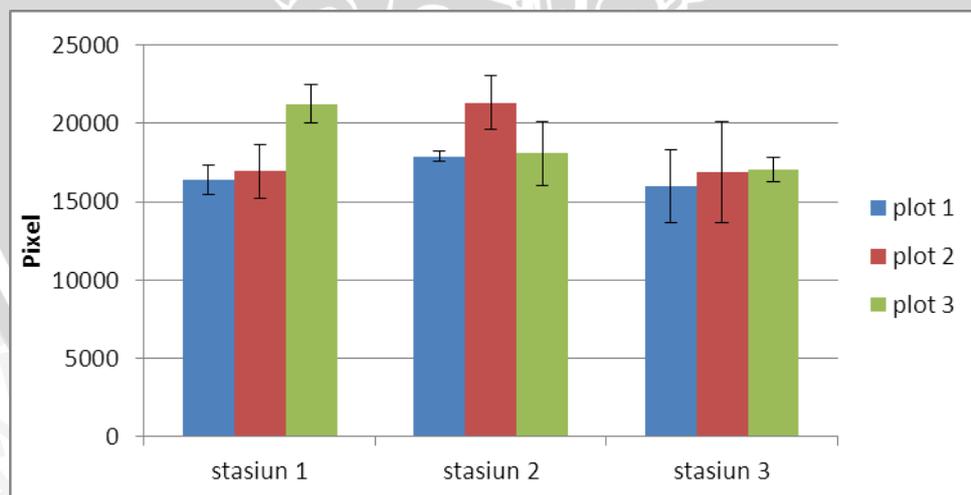
**Gambar 14** . Intensitas Metallothionein (A) Stasiun 1 (B) Stasiun 2 (C) Stasiun 3

Cara untuk mengetahui nilai intensitas metallothionein pada masing-masing area disajikan pada **Lampiran 4** 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
1	15351	15523	22666	18317	23300	20411	13340	13201	16324
2	16965	16504	20538	17704	20356	16929	17367	18781	17040
3	16965	18807	20538	17704	20356	16929	17367	18781	17810
<b>Rata-Rata</b>	16427	16945	21247	17908	21337	18090	16025	16921	17058

Seperti halnya dengan hasil analisis densitas metallothionein pada lambung tiram, hasil penelitian terhadap intensitas metallothionein menunjukkan bahwa densitas dan intensitas metallothionein memiliki hubungan yang linear. Intensitas metallothionein yang ditemukan tertinggi pada stasiun II yang merupakan daerah area berlabuhnya kapal setelah mendaratkan hasil tangkapan serta dekat dengan pemukiman penduduk. Intensitas metallothionein pada stasiun I berkisar antara 16427 pixel – 21247 pixel, stasiun II berkisar antara 17908 pixel – 21337 pixel dan pada stasiun III berkisar antara 16025 pixel – 17058 pixel. Hasil perhitungan Standart deviasi stasiun 1 pada plot 1 berkisar SD  $\pm 931,8$  plot 2 SD  $\pm 1685,7$  dan plot 3 SD  $\pm 1228,6$ . Stasiun 2 plot 1 SD  $\pm 353,9$  plot 2 1699,7 dan plot 3 2010,3. Sedangkan pada stasiun 3 plot 1 SD  $\pm 2324,9$  plot 2 SD  $\pm 3221,6$  dan plot 3 SD  $\pm 743,16$ . 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 15 berikut ini.



**Gambar 15.** Grafik rata-rata Intensitas Metallothionein pada Lambung Tiram Menurut Irvan (2007), produk imunoreaksi dari cu, Zn-SOD diamati dengan menggunakan mikroskop cahaya. Perbedaan intensitas yang terbentuk akibat reaksi tersebut dapat dibagi atas tiga tingkatan intensitas warna untuk

reaksi positif dan satu intensitas warna untuk reaksi negatif. Reaksi positif terdiri dari positif kuat yang ditunjukkan dengan warna coklat tua sampai kehitaman (+++), positif sedang yang ditunjukkan dengan warna coklat tua muda (++) dan positif lemah yang ditunjukkan dengan warna coklat yang bercampur biru (+).

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 subseluler. 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 kebawah), 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 Tiram dan kadar logam berat (Pb, Cd, Hg) dengan Metallothionein pada Lambung Tiram *Crassostrea iredalei*

Kadar metallothionein pada tiram akan meningkat seiring dengan peningkatan ukuran dan kadar logam berat yang masuk pada tubuh tiram tersebut. Bebbiano *et al.* (2003), menjelaskan bahwa antara kondisi fisiologis usia, ukuran atau berat badan adalah faktor biotik yang paling penting diketahui mempengaruhi jaringan konsentrasi logam. Konsentrasi MT juga meningkat secara eksponensial dengan penambahan panjang kerang dari jaringan lunak. Sehingga kasus konsentrasi MT, untuk membandingkan logam berat pada *P. aspera* harus menggunakan kisaran berat badan atau ukuran. Menurut Amiard *et al.* (2006), MT dan konsentrasi logam berat dapat dianalisis pada kelenjar pencernaan. Analisis regresi dapat digunakan untuk menunjukkan parameter yang paling mempengaruhi konsentrasi MT diantara faktor alami (salinitas, jenis kelamin, musim, total konsentrasi protein) maupun dari faktor kontaminan.

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.

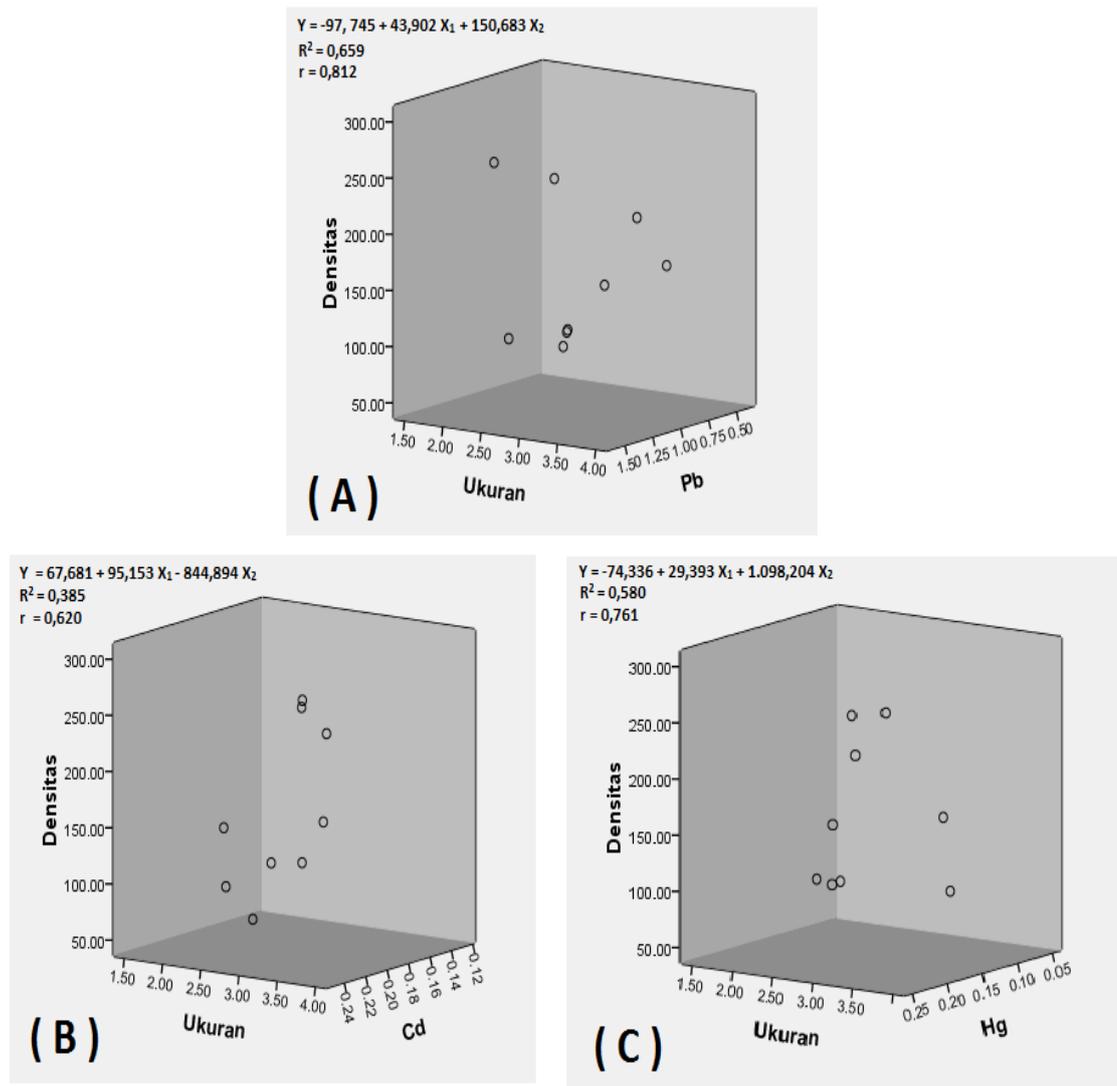
Untuk mengetahui bentuk hubungan di antara faktor-faktor yang terkait dapat digunakan analisis regresi yang merupakan hubungan sebab akibat. Dalam analisis regresi, bentuk hubungan di antara faktor dinyatakan dalam bentuk hubungan fungsional yang dinyatakan dalam suatu persamaan dan disebut persamaan regresi. Dalam analisis regresi, dikenal ada dua jenis peubah, yaitu: peubah respon atau disebut juga peubah tak bebas (dependent) yaitu peubah yang keberadaannya dipengaruhi oleh peubah lainnya dan biasa dinotasikan dengan Y. Peubah prediktor dan disebut juga peubah bebas (independent) yaitu peubah yang tidak dipengaruhi oleh peubah lainnya dan biasa dinotasikan dengan X (Sungkawa, 2013). Secara teoritis, ukuran tiram dan kadar logam berat akan mempengaruhi kadar MT pada tiram *Crassostrea iredalei*, dimana semakin besar (tua) ukuran tiram, maka kandungan logam berat yang masuk dalam tubuhnya juga akan semakin meningkat sehingga sintesis MT pada tiram juga akan meningkat.

Model analisis regresi menggunakan regresi berganda untuk mengetahui hubungan antara tiga variabel yaitu ukuran tiram yang merupakan variabel bebas ( $X_1$ ) dan kadar logam berat Pb, Cd dan Hg yang merupakan variabel bebas ( $X_2$ ) terhadap kadar *metallothionein* yang merupakan variabel terikat (Y) pada lambung tiram *C.iredalei*. Lawendatu *et al.* (2014), menyatakan bahwa analisis yang memiliki variabel bebas lebih dari satu disebut analisis regresi berganda. Analisis regresi linier berganda memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memasukkan lebih dari satu variabel bebas.

#### **4.8.1 Analisis Hubungan Ukuran Tiram dan kadar logam berat (Pb, Cd, Hg) dengan Densitas Metallothionein pada Lambung Tiram *Crassostrea iredalei***

Hasil analisis regresi menunjukkan besarnya kandungan logam berat yang terpapar pada lambung tiram mempengaruhi besarnya kandungan

metallothionein yang ada pada lambung tiram. Densitas metallothionein akan terus meningkat sesuai dengan kenaikan konsentrasi logam berat dalam lambung tiram. Hasil analisis regresi densitas metallothionein di sajikan dalam gambar dan tabel berikut ini



**Gambar 16.** Grafik hubungan ukuran tiram dan logam berat Pb (a), Cd (b) dan Hg (c) dengan Densitas MT di lambung *Crassostrea iredalei*

Berdasarkan grafik diatas didapatkan hasil persamaan pada Pb  $Y = -97,745 + 43,902 X_1 + 150,683 X_2$  , apabila  $X_1 = 1$  dan  $X_2 = 0$  , maka diperoleh nilai  $Y = -97,745 + 43,902$ .  $Y = - 53,825$ , apabila  $X_1 = 0$  dan  $X_2 = 1$  maka diperoleh nilai  $Y = -97,745 + 150,683$ .  $Y = 52,938$ . Jadi Nilai Y (MT) lebih



dipengaruhi oleh  $X_2$  (Logam Berat) dibandingkan dengan  $X_1$  (Ukuran) begitu juga pada Nilai Y (MT) pada Cd, dan Hg.

**Tabel 4.** Data hasil analisis hubungan densitas metallothionein

Logam Berat	R	$R^2$	Penyesuaian $R^2$	Perkiraan kesalahan Std.
Pb	0,812	0,659	0,545	49,3797
Cd	0,620	0,385	0,180	66,5264
Hg	0,761	0,580	0,440	54,9953

Berdasarkan hasil analisis regresi yang ditunjukkan pada Gambar 16 (a), koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara ukuran tiram dan kadar logam berat Pb dengan Densitas MT di lambung *Crassostrea iredalei* sebesar 0,659 dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,812 dan hubungan fungsional sebesar 65,9%. Berdasarkan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,812, maka hubungan ukuran tiram dan kadar logam berat Pb dengan densitas metallothionein di lambung *Crassostrea iredalei* pada penelitian ini tergolong sangat kuat.

Sedangkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara ukuran tiram dan kadar logam berat Cd dengan Densitas MT di lambung *Crassostrea iredalei* sebesar 0,385 dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,620 dan hubungan fungsional sebesar 38,5%. Berdasarkan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,620 maka hubungan ukuran tiram dan kadar logam berat Cd dengan densitas MT di lambung *Crassostrea iredalei* pada penelitian ini tergolong kuat.

Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara ukuran tiram dan kadar logam berat Hg dengan Densitas MT di lambung *Crassostrea iredalei* sebesar 0,580 dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,761 dan hubungan fungsional sebesar 58%. Berdasarkan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,761 maka hubungan ukuran tiram dan kadar logam berat Cd dengan densitas MT di lambung *Crassostrea iredalei* pada penelitian ini tergolong kuat. Hal ini sesuai dengan pendapat Sarwono (2006), bahwa tingkat korelasi tergolong kuat apabila " $r$ "

berkisar  $>0,5 - 0,75$ . Hasanah (2013) menyatakan pula bahwa tingkat korelasi pada interval koefisien  $0,60 - 0,799$ .

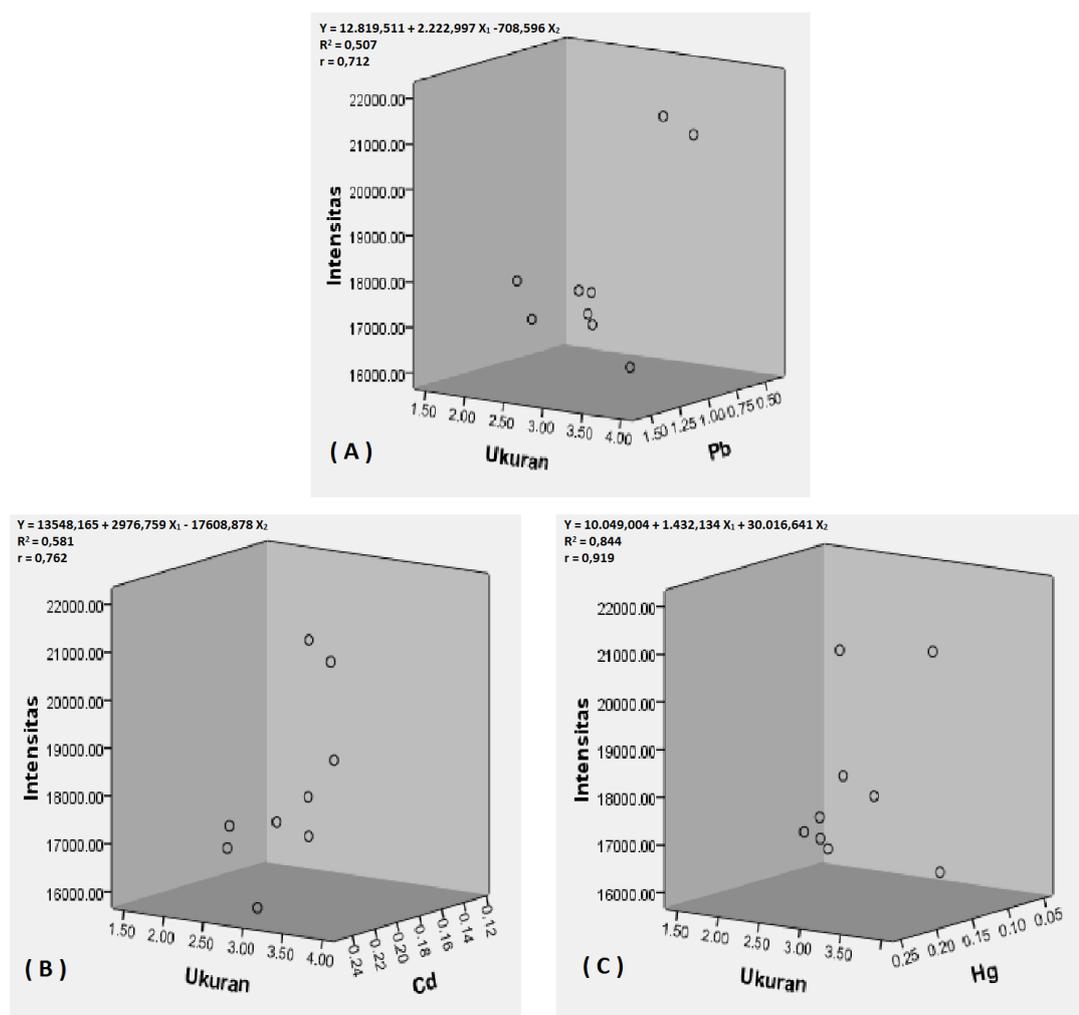
Hasil penelitian Mubin (2014), menunjukkan hal yang serupa menunjukkan bahwa hubungan kadar MT pada tubuh tiram *C. iredalei* dengan kadar logam berat Pb tergolong kuat dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar  $0,4542$  dan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar  $0,6739$  dan hubungan fungsional sebesar  $45,42\%$ . Hal ini diperkuat oleh Kartikaningsih *et al.* (2013) yang melaporkan bahwa MT yang terekspos pada Kijing Taiwan semakin meningkat seiring dengan peningkatan dosis pemaparan  $PbNo_3$ . Lebih lanjut Herista (2013), menjelaskan bahwa 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  $94,08\%$ .

Disamping itu, ukuran tiram juga mempengaruhi banyaknya kadar logam berat yang mampu diakumulasi dalam tubuhnya. Wulandari *et al.* (2012), menyatakan bahwa ukuran tiram *S. glomerata* dengan panjang, lebar dan tinggi yang lebih besar mampu mengakumulasi logam lebih besar pula. Andrew *et al.* (2013), menyatakan pula bahwa secara teoritis, ukuran cangkang yang besar berkorelasi positif dengan meningkatnya umur, dan meningkatnya umur juga berkorelasi positif dengan meningkatnya konsentrasi logam berat pada tubuh.

#### **4.8.2 Analisis Hubungan Ukuran dan kadar logam berat (Pb, Cd, Hg) dengan Intensitas Metallothionein pada Lambung Tiram *Crassostrea iredalei***

Hasil analisis regresi menunjukkan besarnya kandungan logam berat yang terpapar pada lambung tiram mempengaruhi besarnya kandungan

metallothionein yang ada pada lambung tiram. Densitas metallothionein akan terus meningkat sesuai dengan kenaikan konsentrasi logam berat dalam lambung tiram. Hasil analisis regresi densitas metallothionein di sajikan dalam gambar dan tabel berikut ini



**Gambar 17.** Grafik hubungan ukuran tiram dan logam berat Pb (a), Cd (b) dan Hg (c) dengan Intensitas MT di lambung *Crassostrea iredalei*

Berdasarkan grafik diatas didapatkan hasil persamaan pada Pb  $Y = 12.819,511 + 2.222,997 X_1 - 708,596 X_2$ , apabila  $X_1 = 1$  dan  $X_2 = 0$ , maka diperoleh nilai  $Y = 12.819,511 + 2.222,997 Y = 15.042,508$ . apabila  $X_1 = 0$  dan  $X_2 = 1$  maka diperoleh nilai  $Y = 12.819,511 - 708,596$ .  $Y = 12.110,915$ . Nilai Y (MT) lebih dipengaruhi oleh  $X_1$  (Ukuran) dibandingkan dengan  $X_2$ (Logam Berat) hal ini

diduga terjadi akibat faktor usia dan kejenuhan tiram dalam mengakumulasi logam berat, sehingga logam berat yang terikat MT sedikit.

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

Logam Berat	R	R <sup>2</sup>	Penyesuaian R <sup>2</sup>	Perkiraan kesalahan Std.
Pb	0,712	0,507	0,343	1602,15028
Cd	0,762	0,581	0,441	1477,59046
Hg	0,919	0,844	0,792	901,58050

Berdasarkan hasil analisis regresi yang ditunjukkan pada Gambar 17 (a), koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) antara ukuran tiram dan kadar logam berat Pb dengan intensitas MT di lambung *Crassostrea iredalei* sebesar 0,507 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,712 dan hubungan fungsional sebesar 50,7%. Berdasarkan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,712, maka hubungan ukuran tiram dan kadar logam berat Pb dengan densitas metallothionein di lambung *Crassostrea iredalei* pada penelitian ini tergolong kuat.

Sedangkan nilai koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) antara ukuran tiram dan kadar logam berat Cd dengan intensitas metallothionein di lambung *Crassostrea iredalei* sebesar 0,581 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,762 dan hubungan fungsional sebesar 58,1%. Berdasarkan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,762 maka hubungan ukuran tiram dan kadar logam berat Cd dengan densitas MT di lambung *Crassostrea iredalei* pada penelitian ini tergolong kuat.

Nilai koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) antara ukuran tiram dan kadar logam berat Hg dengan intensitas metallothionein di lambung *Crassostrea iredalei* sebesar 0,844 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,919 dan hubungan fungsional sebesar 84,4%. Berdasarkan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,919 maka hubungan ukuran tiram dan kadar logam berat Cd dengan densitas MT di lambung *Crassostrea iredalei* pada penelitian ini tergolong sangat kuat.

Hal ini sesuai dengan pendapat Sarwono (2006), bahwa tingkat korelasi tergolong kuat apabila "r" berkisar >0,5 – 0,75. Hasanah (2013) menyatakan pula

bahwa tingkat korelasi pada interval koefisien 0,60 – 0,799. Hasil penelitian Mubin (2014), menunjukkan hal yang serupa menunjukkan bahwa hubungan kadar MT pada tubuh tiram *C. iredalei* dengan kadar logam berat Pb tergolong kuat dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,4542 dan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,6739 dan hubungan fungsional sebesar 45,42%. Hal ini diperkuat oleh Kartikaningsih *et al.* (2013) yang melaporkan bahwa MT yang terekspresi pada Kijing Taiwan semakin meningkat seiring dengan peningkatan dosis pemaparan  $PbNo_3$ .

Lebih lanjut Herista (2013), menjelaskan bahwa 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%. Disamping itu, ukuran tiram juga mempengaruhi banyaknya kadar logam berat yang mampu diakumulasi dalam tubuhnya. Wulandari *et al.* (2012), menyatakan bahwa ukuran tiram *S. glomerata* dengan panjang, lebar dan tinggi yang lebih besar mampu mengakumulasi logam lebih besar pula. Andrew *et al.* (2013), menyatakan pula bahwa secara teoritis, ukuran cangkang yang besar berkorelasi positif dengan meningkatnya umur, dan meningkatnya umur juga berkorelasi positif dengan meningkatnya konsentrasi logam berat pada tubuh.

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 6 berikut:

**Tabel 6.** Data Analisa 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 stasiun 1 diperoleh nilai suhu sebesar 34°C, pada stasiun 2 dan 3 diperoleh nilai suhu yang sama yaitu 35°C. Nilai suhu tertinggi terdapat pada stasiun 2 dan 3 yaitu sebesar 35°C, hal ini dikarenakan waktu pengukuran suhu di stasiun ini dilakukan pada saat tengah hari sehingga intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan tinggi. Nilai suhu terendah terdapat pada stasiun 1 yaitu sebesar 34°C, hal ini disebabkan karena cuaca pada saat pengukuran suhu di stasiun 1 tidak terlalu terik bila dibandingkan dengan stasiun 2 dan 3, selain itu stasiun 1 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/potensial Hydrogen)**

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  $\text{CO}_2$  (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 stasiun 2 sebesar 7,2 mg/L dan pada stasiun 3 sebesar 7,6 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai DO tertinggi terdapat pada stasiun 3, hal ini disebabkan karena letak stasiun 3

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 stasiun 3 lebih besar dibandingkan dengan kedua stasiun lainnya. Sedangkan nilai DO terendah terdapat pada stasiun 1, hal ini disebabkan karena letak stasiun 1 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 stasiun 2 sebesar 30,33 mg/L dan pada stasiun 3 sebesar 29,07 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai TOM tertinggi terdapat pada stasiun 1, hal ini disebabkan karena letak stasiun 1 berada di kawasan mangrove dimana pada kawasan mangrove banyak terdapat seresah-seresah tumbuhan mangrove, sehingga nilai TOM pada kawasan ini lebih tinggi daripada di kedua stasiun lainnya. 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 Effendi (2003), yang menyatakan kandungan total bahan organik untuk pertumbuhan organisme diperairan  $\geq 20$  mg/l.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang Hubungan Kadar Densitas dan Intensitas Metallothionein (MT) pada Insang Tiram (*Crassostrea iredalei*) dengan ukuran tiram dan Kadar Pb, Cd dan Hg di Perairan Pantai Talang Siring, Pamekasan, Madura, maka dapat disimpulkan:

- ✓ Kandungan logam berat di perairan Pantai Talang Siring untuk Pb berkisar 0,016 – 0,022 ppm, Cd berkisar 0,019 – 0,029 ppm, dan Hg berkisar 0,011 – 0,016 ppm. Dari data ini menunjukkan bahwa kadar logam berat Cd dan Hg di perairan pantai Talang Siring telah melewati ambang batas yang diperbolehkan untuk kepentingan biota laut sesuai dengan ketentuan Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Keputusan No. 02/MNKLH/I/1988 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan, Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Jakarta, 1988 dalam Rochyatun *et al.*, 2006)
- ✓ Nilai kandungan logam berat yang terpapar pada lambung Tiram *Crassostrea iredalei* di Pantai Talang Siring Madura antara lain Pb berkisar 0,76 - 1,14 mg/l, Cd berkisar 0,7 – 0,22 mg/l, dan Hg berkisar 0,1 – 0,16 mg/l. Dari data ini menunjukkan bahwa kadar logam berat Cd dan Hg di Lambung tiram masih berada dibawah ambang batas untuk konsumsi Menurut Direktorat Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan (POM) No. 03725/B/SK/VII/89 dalam Wulandari *et al.*, 2012) (FAO, 1972 dalam Rahman, 2006)
- ✓ Hasil analisis kadar Densitas Metallothionein pada lambung tiram menunjukkan bahwa kadar metallothionein pada lambung tiram *Crassostrea iredalei* di Pantai alang Siring tertinggi pada kawasan pariwisata dan tempat

berlabuhnya kapal perikanan, disusul pada kawasan mangrove dan yang terendah pada kawasan pemukiman. Hasil analisis regresi korelasi dari ketiga stasiun diperoleh hasil hubungan fungsional antara 38,5% - 58%, sehingga menunjukkan hubungan koefisien korelasi ( $r$ ) antara: ukuran tiram dan logam berat Pb, Cd, Hg dengan MT tergolong kuat. Ukuran tiram mempengaruhi daya akumulasi logam berat, yang nantinya berpengaruh juga terhadap sintesis kadar MT dalam tiram.

- ✓ Hasil analisis kadar Intensitas Metallothionein pada lambung tiram menunjukkan bahwa kadar metallothionein pada lambung tiram *Crassostrea iredalei* di Pantai alang Siring tertinggi pada kawasan pariwisata dan tempat berlabuhnya kapal perikanan, disusul pada kawasan mangrove dan yang terendah pada kawasan pemukiman. Hasil analisis regresi korelasi dari ketiga stasiun diperoleh hasil hubungan fungsional antara 50,7% - 84,4%, sehingga menunjukkan hubungan koefisien korelasi ( $r$ ) antara: ukuran tiram dan logam berat Pb, Cd, Hg dengan MT tergolong sangat kuat. Ukuran tiram mempengaruhi daya akumulasi logam berat, yang nantinya berpengaruh juga terhadap sintesis kadar MT dalam tiram.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, ukuran tiram dan kadar logam berat Pb, Cd dan Hg memiliki korelasi yang sangat kuat terhadap MT. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan MT 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.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amiard.J.C., S. Barka, J. Pellerin, P.S. Rainbow. 2006. **Metallothioneins in Aquatic Invertebrates: Their Role in Metal Detoxification and Their Use as Biomarkers.** *Aquatic Toxicology*. 76: 160 – 202.
- Andrew, S.T., Y.I.Siregar, Efriyeldi. 2014. **Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Z pada Daging dan Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tanjung Balai Asahan.** Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru.
- 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.
- Arfiati, Diana., Nuriyani dan Mita Galih Setiawan. 2013. **Survey Kadar Hg, Cd dan Pb pada Bivalvia di Pesisir Jawa Timur.** Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya : Malang.
- Arrignon, J. 2003. **Management of Freshwater Fisheries.** Science Publishers, Inc. United States of America.
- Barret, E. M. 1963. **The California Oyster Industry, The Resources Agency of California Departement of Fisheries.** Fisheries Bulletin.
- Barus, 2002. **Pengantar Limnologi.** Jurusan Biologi FMIPA Univrsitas Sumatera Utara. Medan
- Bebianno, M.J., C. Santos, J. Canario, D. Sena-Carvalho, C. Vale. 2007. **Hg and Metallothionein-Like Proteins in the Black Scabbardfish *Aphanopus carbo*.** *Food and Chemical Toxicology*. 45 : 1443-1452.
- Carpene, E., G. Andreani, G. Isnani. 2007. **Metallothionein Finctions and Structural Characteristics.** *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. p : 35-39.
- Effendi, E. 2010. **Bahan Prosiding. Aplikasi larutan amonia untuk meningkatkan motilitas spermatozoa dan pemuahan telur tiram mutiara (*Pinctada maxima*).** <http://www.docstoc.com/docs/10627441/bahan-poisiding>. Diakses pada tanggal 29 September 2014.
- Effendi, E., 2003. **Telaah kualitas air. Bagi pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan.** Penerbit kanisius. Yogyakarta.
- Djawad, M.I. dan N. Bertha. 2009. **Efektifitas Tiram Bakau (*Crassostrea* sp.) dalam Mereduksi CU pada Air Pemeliharaan Udang Windu (*Panaeus monodon*).** *E-Jurnal dan Teknologi Kelautan Tropis*. 1 (2) : 1 -10.
- Fardiaz, S. 1992. **Polusi air dan udara.** Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Fergusson, J.E.1991. **The Heavy Element Chemistry Environmental Impact And Health Effects.** Pargamon 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) diperairan pantai lekok pasuruan.** Universitas islam negeri. Malang.
- Flora, S. J. S. 2009. **Metal Poisoning: Threat and Management.** Al Ameen Charitable Fund Trus, Bangalore. Vol 2(2) pp: 4-26.
- Galtsoff, P. S. 1964. **The American Oyster (*Crassostrea virginica*).** Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service. 64 : 489 P.
- Geffard, A, Olivier G, Edouard H, Jean-Claude Amiard. 2002. **Relationships Between Metal Biocccumulation and Metallothionein Levels in Larvae of *Mytilus galloprovincialis* Exposed to Contaminated Estuarine Sediment Elutriate.** Marine Ecology Progress Series Vol.233;131-142.
- Hamzah, F. dan Y. Pancawati. 2013. **Fitoremediasi Logam Berat dengan Menggunakan Mangrove.** *Ilmu Kelautan*. ISSN 0853 – 7291. 18 (4) : 203 – 212.
- Hariyadi, S., I. N. N. Suryadiputra dan B. Widigo. 1992. **Limnologi Penuntun Praktikum dan Metoda Analisa Kualitas Air.** Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Herista, D.S 2012. **Analisis Kandungan Metallothionein pada Insang Tiram (*Crasostrea cuculata*) dari Perairan yang MEngandung Logam Berat Pb, Cd dan Hg di Pelabuhan Pantai Mayangan Probolinggo, Jawa Timur.** Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang.
- Hertika, A.M.S., Marsoedi., Diana. A., dan Soemarno. 2014. **Density and Intensity of METallothionein in Gill and Interior Cavity of Taiwan Mussels (*Anodonto woodiana*) after Exposure to Lead (Pb) at Sub-Chronic Level Using Immunohistochemical Technique.** *Journal of Natural Science Research*. Vol 4 (6).
- Hutabarat, S dan S.M. Evans. 1987. **Pengantar Oceanografi.** Penerbit UIPress. Jakarta.
- Hutagalung, H.P. 1991. **Pencemaran Laut oleh Logam Berat. Dalam status pencemaran laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya.** P30-LIPI.Jakarta.Hal 45-59.
- 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.

- Irianto, A., D. Sipatuhar dan A. Sudrajat. 1994. **Observasi Tiram *Crassostrea* spp. Tanjungpinang dan perairan bintang, kepulauan Riau.** Warta Ba;itdita. Vol 6 No. 1. 19-21.
- Irvan, M. 2007. **Pengaruh Pemberian Isoflavon Kedelai, Mineral Zn dan Vitamin E Terhadap Profil Imunohistokimia Antioksidan Copper, Zinc-Superoxide Dismutase (Cu,Zn-SOD) Pada Jaringan Hati Tikus.** Fakultas Kedokteran Hewan. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Kartikaningsih, H.,A. M. S. Hertika dan D. Arfiati. 2013. ***Ekspressi Metallothionein Pada Ingsang Dan Lambung Kijing Taiwan (Anodonta woodiana) yang Terpapar Timbel (Pb) pada Konsentrasi Sub-Kronis.*** Universitas Brawijaya. Malang.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2004. ***Baku Mutu Air Laut untuk Biota Air Laut.*** Kelembagaan Lingkungan Hidup.
- 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.
- Larasati, 2010. **Prosedur Tetap Pencegatan Imunohistokimia p53. Cancer chemoprevention research center.** Fakultas Farmasi UGM. Yogyakarta
- Tancung .M . G. H .,Tancung. A. B . 2005. **Pengelolaan Kualitas Air Dalam Budidaya Perairan.**
- Lawendatu, J.R., J.S. Kekenusa, D. Hatidja. 2014. ***Regresi Linier Berganda untuk Menganalisis Pendapatan Petani Pala.*** JdC. 3(1).
- Lu, F.C. 2006. **Toksologi Dasar Asas, Organ Sasaran dan Penelitian Resiko.** Penerbit UI Press. Jakarta.
- Maslukah, Lilik. 2006. **Konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cu, Zn, dan pola sebarannya di muara banjir kanal barat, Senarang.** Skripsi. IPB. Repository.ipb.ac.id/bitsfream/handle.../2006lma1.pdf.
- Mezei, T. 2010. **About Oyster.** <http://www.ostrea.org/oysters.html>. Diakses pada tanggal 29 September 2014.
- Mubin, Haqqul. 2014. ***Metallothionein (MT) Sebagai Biomarker Kadar Logam Berat Hg, Cd dan Pb pada Tiram *Crassostrea iredalei* di Perairan Pantai Utara Kabupaten Gresik Jawa Timur.*** Skripsi. Universitas brawijaya. Malang.
- Muntiha, M. 2001. **Teknik Pembuatan Preparat Histopatologi Dari Jaringan Hewan Dengan Pewarnaan Hematoksilin Dan Eosin (H&E).** Balai Penelitian Veteriner. Temu Teknis Funsional Non Peneliti.

- Murtini, J. T. dan R. Peranginangin. 2006. **Kandungan Logam Berat pada Kerang Kepah (*Meritrix meritrix*) dan Air Laut di Perairan Banjarmasin.** *Jurnal Perikanan*. Vol. VIII (2): 177 – 184.
- Musthapia, I. 2001. **Studi Biologi Reproduksi Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) Hubungan Panjang Berat serta Tingkat Kematangan Gonad.** Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ningtias, P. 2002. **Tingkat Akumulasi Logam Berat Pb, Cd, Cu dan Zn pada Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) di Perairan Muara Kamal, Teluk Jakarta.** Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. 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, Heryando. 2012. **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat.** Jakarta: Rineka Cipta.
- 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 cuculata* from Iranian Coast of the Oman Sea.** *Trakia Journal of Science*. 8 (1) : 79-96.
- Prasetya, J. D., I. Widowati, J. Suprijanto. 2011. **Tingkat Bioakumulasi Logam Berat Pb (Timbal) pada Jaringan Lunak *Polymesoda erosa* (Moluska, Bivalve).** Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro. Semarang.
- Pratami C.E. 2005. **Sebaran Moluska (*Bivalvia* dan *Gastropoda*) di perairan Teluk Jobokuto, Pantai Kartini Jepara, Jawa Tengah [skripsi].** Departemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perairan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Bogor. 1-9 hlm.
- 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.
- Ramon, M. and C.A. Richardson. 1992. **Age Determination and Shell Growth of *Chamelea gallina* (*Bivalvia*: *Veneridae*) in the Western Meditteran.** *Marine Ecology Progress Series*. 89 : 15 – 23.

- Reilly, C. 1991. **Metal contamination food. Second edition. Elsevier science publisher Ltd. London.**
- Rizkiyani, A. H. 2013. **Pengembangan Kawasan Wisata Pesisir Talang Siring di Kabupaten Pamekasan. Prodi Perencanaan Wilayah dan Kota. Institut Sepuluh Nopember. Surabaya.**
- Rumahlatu, D., A.D. Corebima, M. Amin, F. Rachman, 2012. **Kadmium dan Efeknya terhadap Ekspresi Protein Metallothionein pada *Deadema setosum* (Echinoidea, Echinodermata). Jurnal Penelitian Perikanan. ISSN : 2337 – 621X. I (1) : 26 – 35.**
- 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)**
- Sambaz. 2010. **Budidaya Tiram Mutiara. Zaldibiaksambas.files.wordpress.com/2010/10/ tiram-mutiara.pdf. diakses 5 November 2014.**
- Sarwono, J. 2006. **Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif. Penerbit Graha Ilmu. Yogyakarta.**
- Sastrawijaya, A. Tresna. 1991. **Pencemaran Lingkungan. Jakarta: Rineka Cipta.**
- Sembel, Luky. 2011. **Analisis Logam Berat Pb, Cd dan Cr Berdasarkan Tingkat Salinitas di Estuari Sungai Belau Teluk Lampung. Fakultas Peternakan Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Negeri Papua. Papua.**
- Setyono, D. E. D. 2006. **Karakteristik Biologi dan Produk Kekekangan Laut. Jurnal Oseana. 31 (1) : 1-7.**
- Siaka, I. M. 2008. **Korelasi Antara Kedalaman Sedimen di Pelabuhan Benoa dan Konsentrasi Logam Berat Pb dan Cu. Jurnal Kimia. 2 (2): 61 – 70.**
- Simes D.C, Maria J.B Jose J.G.M. 2003. **Isolation and characterization of metallothionein from the clam *Ruditapes decussates*. Aquatic Toxicology 63 :307-318**
- SNI, 1990. **Metode Pengukuran Kualitas Air. Dinas Pekerjaan Umum. Jakarta**
- Subarijanti, H.U. 1990. **Diktat Kuliah Limnology. NUFFIC/ UNIBRAW/ LUW/ FISH. Universitas Brawijaya Malang**

- 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.
- 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.
- Sungkawa, I. 2013. **Penerapan Analisis Regresi dan Korelasi dalam menentukan Arah Hubungan Antara Dua Faktor kualitatif pada tabel kontingensi**. *Jurnal Matematika dan Statistika*. Vol. 13 (1): 33 – 41.
- 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.
- Surakhmad, W. 1998. **Pengantar Penelitian Ilmiah Dasar Metode Teknik**. Torsito Press. Bandung
- 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.
- Tancung, A.B., Kordi, K.M.G.H. 2005. **Pengelolaan Kualitas Air Dalam Budidaya Perairan**. Rineka Cipta.
- Tillery, B. W. 2002. **Physical Science Fifth edition**. McGraw-Hill Book Company. Arizona.
- 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.
- Widiati, Retno. 2010. **Pengaruh perbedaan Ukuran Kijing Taiwan (*Anodonta woodiana*) Terhadap Laju Penyerapan Logam Berat Pb (timbal)**. Skripsi MSP Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya. Malang.
- 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., E. Y. Herawati, D. Arfiati. 2012. **Kandungan logam berat Pb pada air laut dan tiram *Saccostrea glomerata* sebagai bioindikator kualitas perairan Prigi, Trenggalek, Jawa timur**. *Jurnal Penelitian Perikanan*. Vol. 1 (1): 10-14
- 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
- Zipcodezoo.2014. **Klasifikasi *Crassostrea iredalei***. <http://zipcodezoo.com>.

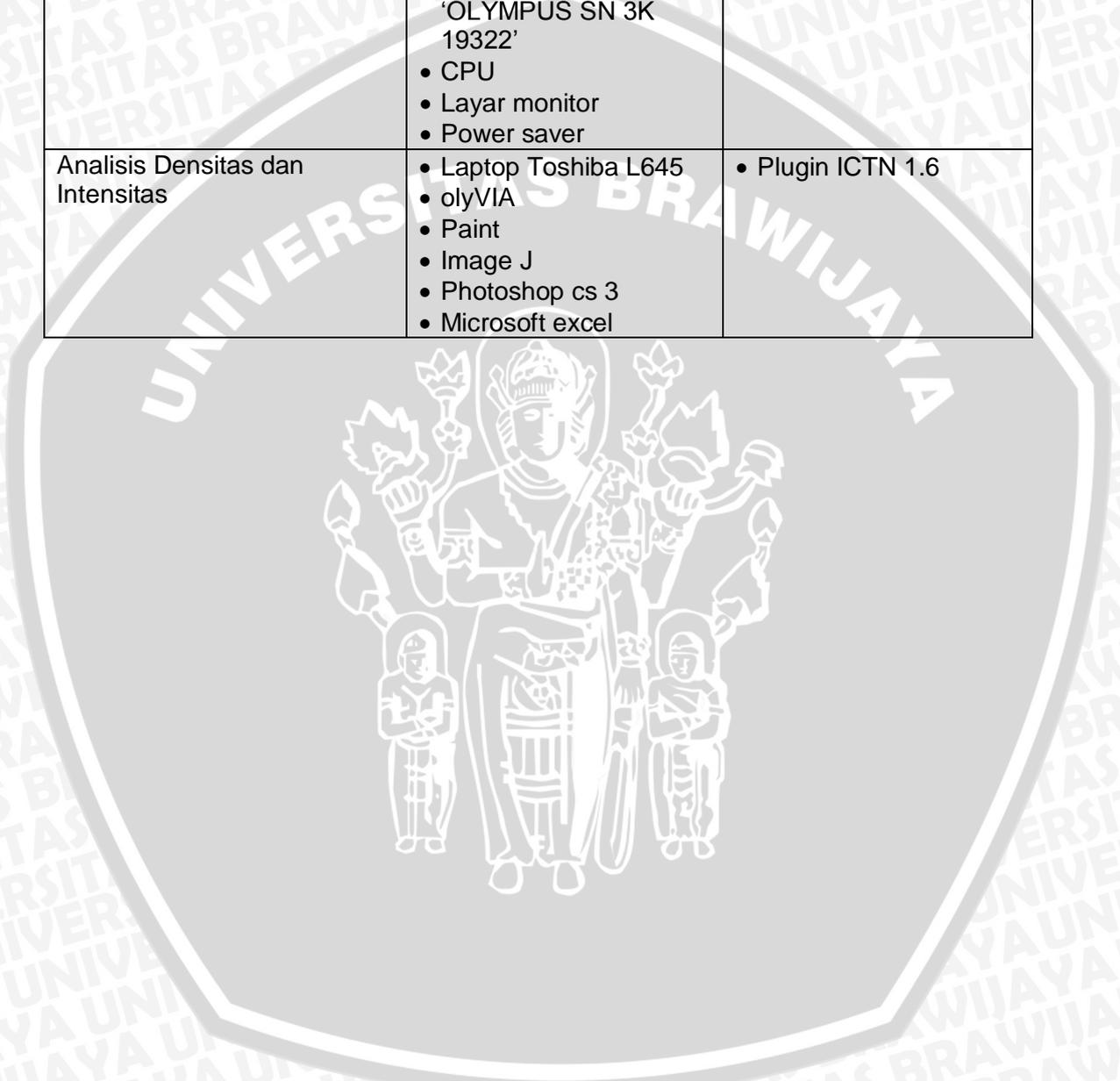


LAMPIRAN

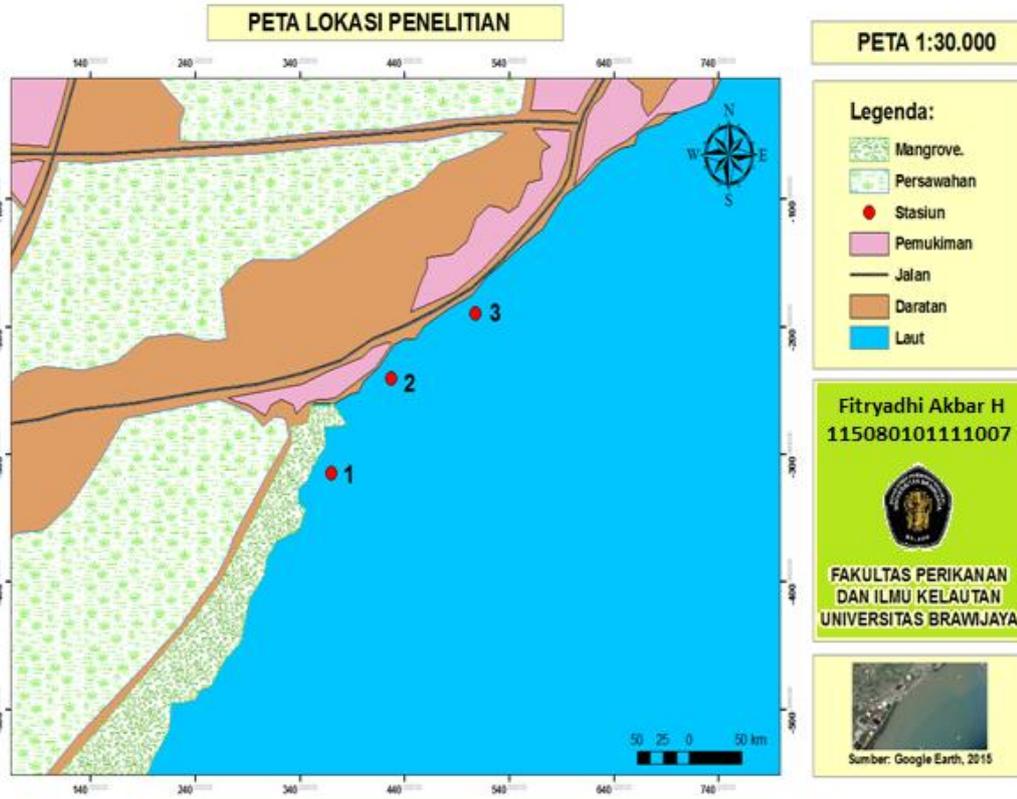
Lampiran 1. Alat Dan Bahan Penelitian

PROSEDUR	ALAT	BAHAN
Pengukuran Kualitas Air - Suhu - Oksigen Terlarut - pH - Salinitas - Logam Berat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermometer Hg</li> <li>• Pipet Volume</li> <li>• Bola Hisap</li> <li>• Pipet Tetes</li> <li>• Botol Winkler</li> <li>• Kotak standart pH</li> <li>• Refraktometer</li> <li>• Lampu Elektroda Pb</li> <li>• Timbangan Sartorius</li> <li>• Oven</li> <li>• Hot Plate</li> <li>• Beaker Glass</li> <li>• Labu Ukur</li> <li>• AAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air sampel</li> <li>• MnSO<sub>4</sub></li> <li>• H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></li> <li>• Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub></li> <li>• Amylum</li> <li>• NaOH + KI</li> <li>• pH paper</li> <li>• Tissue</li> <li>• Tiram <i>Crassostrea cucullata</i></li> <li>• (HNO<sub>3</sub>:HCl) 1:1 sebanyak ± 10-15 ml</li> <li>• Kertas saring</li> <li>• Aquades</li> <li>• Larutan standart</li> </ul>
Pengambilan Organ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sectio set</li> <li>• Cool box</li> <li>• Botol sampel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formalin 10%</li> <li>• Insang tiram (<i>Crassostrea cucullata</i>)</li> </ul>
Prosedur Histopatologi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tissue cassette</li> <li>• Tissue Tex Processor</li> <li>• Microtome</li> <li>• Water bath</li> <li>• Pinset</li> <li>• Inkubator</li> <li>• Keranjang khusus</li> <li>• Pisau</li> <li>• Mesin vakum</li> <li>• Cetakan</li> <li>• Bunsen</li> <li>• Freezer</li> <li>• Objek glass</li> <li>• Objek glass box</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jaringan hewan yang telah difiksasi formalin 10%</li> <li>• Paraffin cair</li> <li>• Kertas label</li> <li>• Alkohol 90%, 80%, 70%</li> <li>• Alkohol absolut</li> <li>• Xylol</li> <li>• Spritus</li> </ul>
Pewarnaan Imunohistokimia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipet tetes</li> <li>• Lemari pendingin</li> <li>• Timer</li> <li>• Pipet volumetrik (micropipette)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sampel</li> <li>• PBS (<i>Phosphate Buffer Saline</i>)</li> <li>• 3 CDTA</li> <li>• Na-sitrat</li> <li>• H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0,3%</li> <li>• Sitrat 1% in PBS</li> <li>• Antibodi metallothionein</li> <li>• 2<sup>nd</sup> AB in PBS (1:200)</li> <li>• Detection antibody</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aquadest</li> <li>• DAB (<i>diamino Benzidine</i>)(male fresh) (1:46)</li> <li>• D2H2O</li> <li>• Air kran</li> <li>• Hematoxylin meyer</li> </ul>
Pengamatan Mikroskop	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikroskop dot slide 'OLYMPUS SN 3K 19322'</li> <li>• CPU</li> <li>• Layar monitor</li> <li>• Power saver</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Slide</li> </ul>
Analisis Densitas dan Intensitas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laptop Toshiba L645</li> <li>• olyVIA</li> <li>• Paint</li> <li>• Image J</li> <li>• Photoshop cs 3</li> <li>• Microsoft excel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plugin ICTN 1.6</li> </ul>



Lampiran 2. Peta Lokasi Penelitian



**Lampiran 3. Data Logam Berat di Air dan Lambung Tiram *Crasostrea iredalei***

a. Data Logam Berat di Air

Stasiun	Logam Berat		
	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)
I	0,019	0,022	0,011
II	0,022	0,029	0,016
III	0,016	0,019	0,013

b. Data Logam Berat di Lambung Tiram *Crasostrea iredalei*

STASIUN	LOKASI	KANDUNGAN LOGAM BERAT		
		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)
I	1	0,560	0,236	0,168
	2	1,115	0,159	0,110
	3	0,924	0,128	0,147
	Rata-rata	0,856	0,174	0,139
II	1	1,291	0,207	0,125
	2	0,740	0,192	0,220
	3	1,440	0,128	0,147
	Rata-rata	1,143	0,176	0,164
III	1	0,954	0,249	0,157
	2	0,825	0,224	0,073
	3	0,538	0,192	0,110
	Rata-rata	0,756	0,222	0,113
	Standart	2	1	0,5

**LAMPIRAN 4. Jumlah dan Densitas Metallothionein**

a. Jumlah metallothionein

LAPANG PANDANG	JUMLAH METALLOTHIONEIN								
	STASIUN PENELITIAN								
	1			2			3		
I	577	547	1003	2030	1189	2200	768	1299	629
II	597	832	1269	1768	1742	1787	549	983	719
III	676	785	1594	1848	1656	1948	540	1063	538
<b>Rata-rata</b>	616	721	1288	1882	1529	1978	619	1115	628

b. Densitas Metallothionein

LAPANG PANDANG	DENSITAS METALLOTHIONEIN ( $n \times 10^{-4}$ MT/ $\mu\text{M}^2$ )								
	STASIUN PENELITIAN								
	1			2			3		
I	77.9	73.8	135.3	273.9	160.4	296.9	103.6	175.2	84.8
II	80.5	112.2	171.2	238.6	235.1	241.1	74	132.6	97
III	91.2	105.9	215.1	249.4	223.5	262.9	72.8	143.3	72.6
<b>Rata-rata</b>	88.3	97.3	173.8	253.9	206.3	266.9	83.5	150.4	84.8

Rumus : Densitas ( $\text{MT}/\mu\text{m}^2$ ) =  $\frac{\text{jumlah Metallothionein}}{\text{luas Lapang Pandang}}$

Keterangan :

Panjang (p) = 381  $\mu\text{m}$

Lebar (l) = 194  $\mu\text{m}$

Luas (L) = 74106  $\mu\text{m}^2$

Lampiran 5. Data intensitas metallothionein

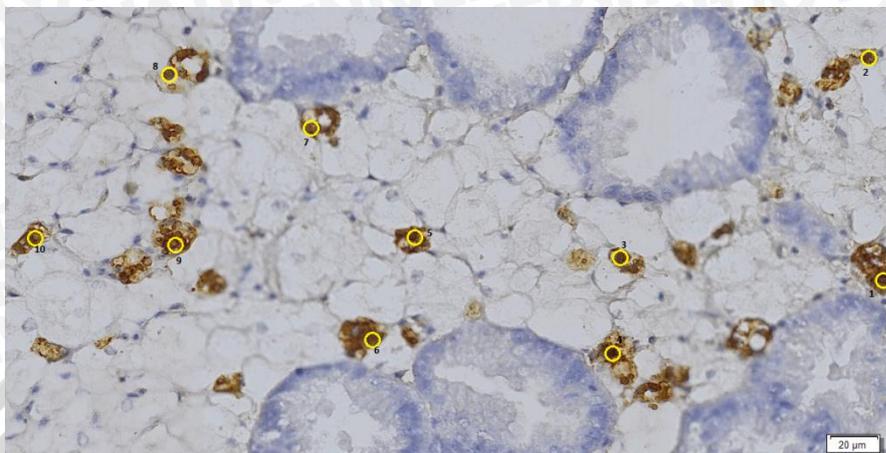
Lapang pandang	JUMLAH INTENSITAS METALLOTHIONEIN (pixel)								
	Stasiun Penelitian								
	1			2			3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	12710	16885	21200	21685	22258	18776	16184	9688	17856
	15910	14078	22999	20268	24396	19309	17267	15601	18180
	13678	15785	17787	16875	22317	19225	7157	8392	19809
	11820	10965	22992	17688	27096	22438	10820	12571	16987
	14706	20897	26122	17306	23453	17324	15365	16834	19912
	14893	20855	29625	19270	22017	20634	17946	11387	10084
	17731	17559	22164	16193	27340	18122	6205	10504	18009
	19492	9208	23518	16150	23653	27185	15406	16570	10286
	16727	16583	22662	16902	18787	20521	13813	14445	18190
	15839	12416	17595	20835	21687	20573	13241	16019	13936
Rata Rata	15351	15523.1	22666	18317	23300	20411	13340	13201	16324.9
2	18843	10231	27942	14239	19734	21691	16538	16474	11979
	22179	14040	18645	18020	24902	12598	23109	15761	21189
	16792	10857	19245	18177	18717	9759	20241	20195	16888
	20275	16525	19570	16377	17161	15559	22376	25392	22354
	13291	19521	21962	12928	18146	20274	16226	20933	21007
	17295	19089	17879	21952	23872	18494	22593	16805	15776
	14799	19600	24668	20287	14681	17068	15767	10484	12407
	17586	16810	16905	23153	23741	16933	9798	19725	20134
	16833	19857	17961	14479	20230	17295	14637	17829	14780
	11758	18511	20607	17428	22377	19619	12389	24210	13892
Rata Rata	16965	16504.1	20538	17704	20356	16929	17367	18781	17040.6
3	15936	19384	23488	17950	12404	15645	15326	16323	20047
	16773	20772	18057	14144	18572	14036	13217	28391	19364
	15298	17873	19690	21727	10531	15503	22321	12680	19264
	20208	10658	16124	11521	13583	12341	22093	20403	21163
	14148	24844	21225	14757	15904	18381	19314	14809	18653
	13993	19165	24211	10677	10392	11969	22654	21260	15641
	14499	19908	17781	13388	9040	16637	15164	19749	18580
	15810	16525	18515	12238	9248	13806	17913	22332	14888
	17136	17800	20148	18325	21263	14644	14987	20020	19619
	12409	21148	21045	15696	25353	14265	21220	23193	10881
Rata Rata	15621	18807.7	20028	15042	14629	14723	18421	19916	17810

Lampiran 6. Pengukuran Tiram *Crassostrea iredalei*

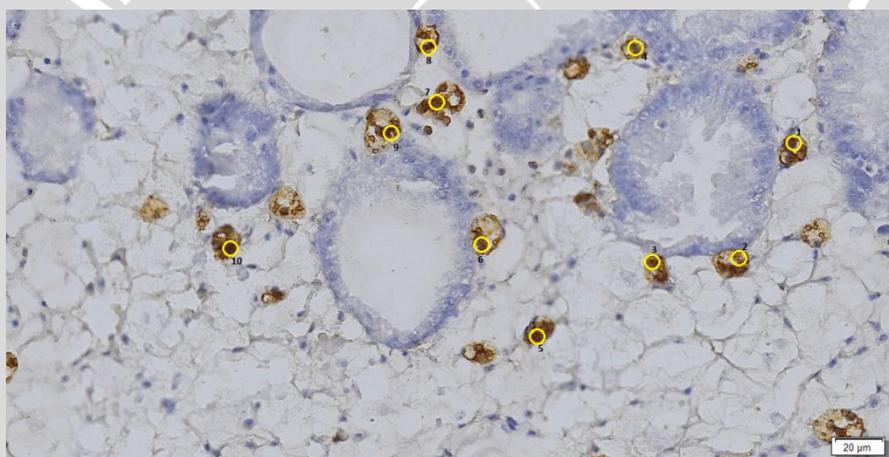


**Lampiran 7. Gambar Densitas dan Intensitas Metallothionein pada area 208  
tinggi 16 dan lebar 16 (lingkaran warna Kuning)**

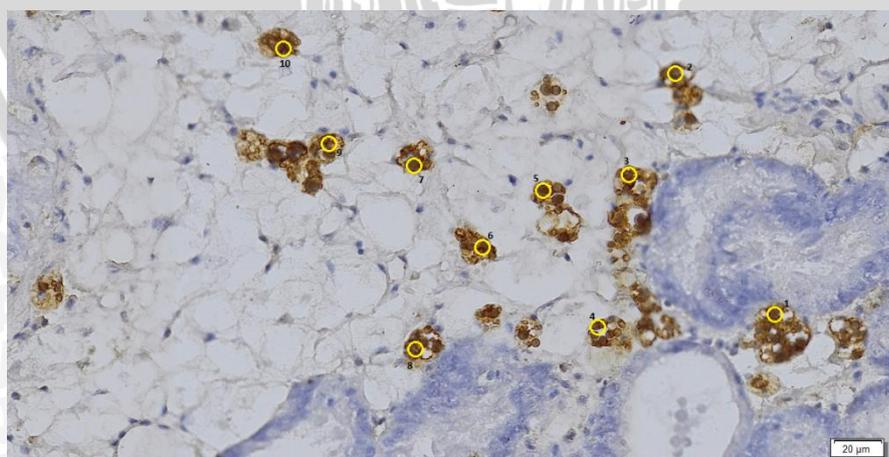
1) Stasiun 1, Plot 1 dan Lapang Pandang 1



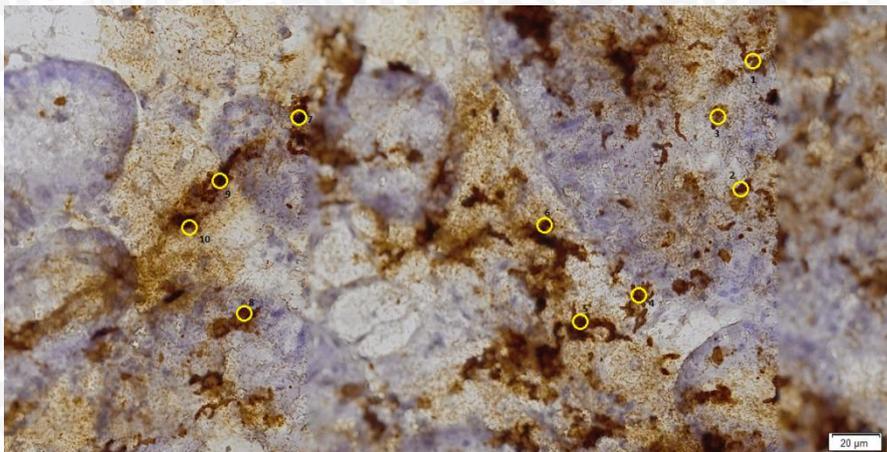
2) Stasiun 1, Plot 1 dan Lapang Pandang 2



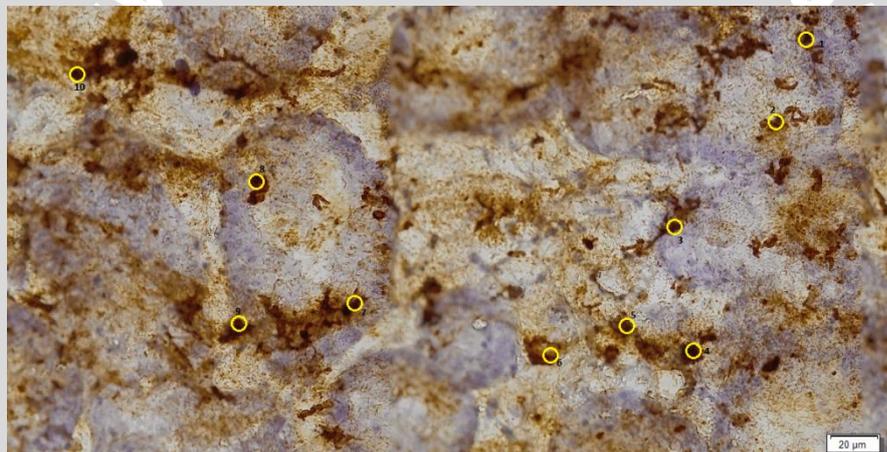
3) Stasiun 1, Plot 1 dan Lapang Pandang 3



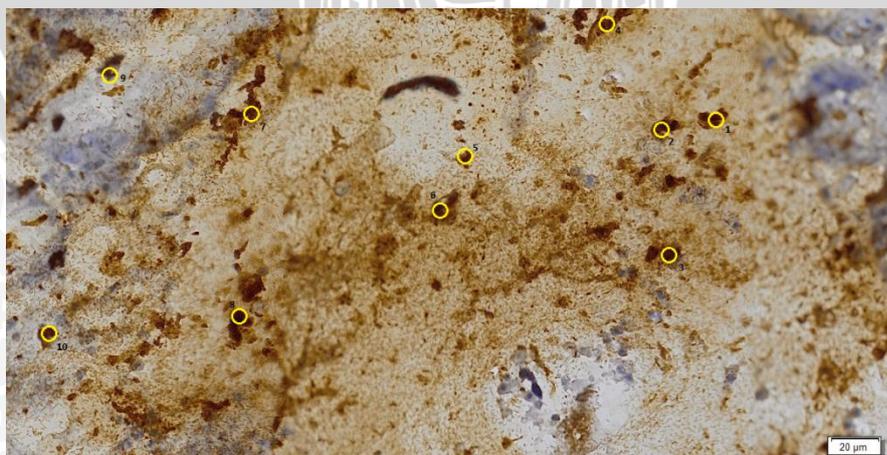
4) Stasiun 1, Plot 2 dan Lapangan Pandang 1



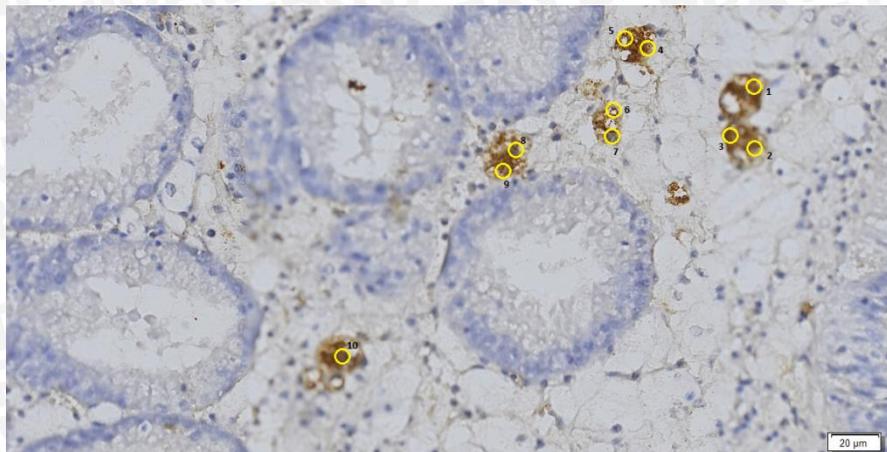
5) Stasiun 1, Plot 2 dan Lapangan Pandang 2



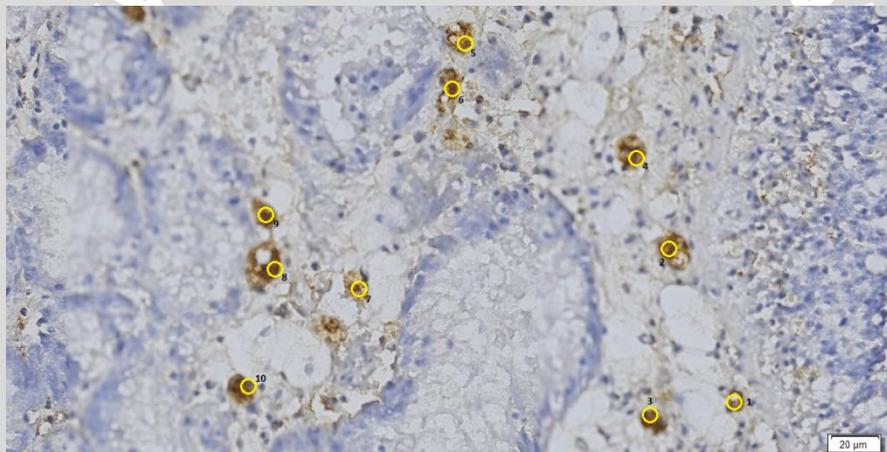
6) Stasiun 1, Plot 2 dan Lapangan Pandang 3



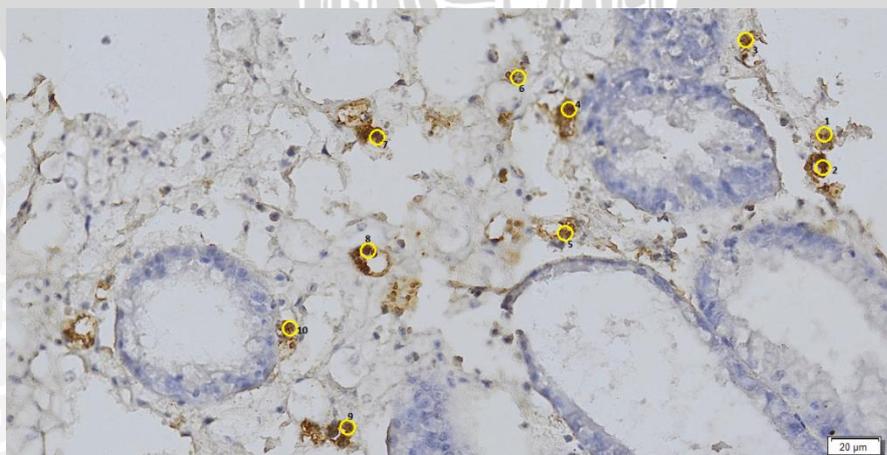
7) Stasiun 1, Plot 3 dan Lapang Pandang 1



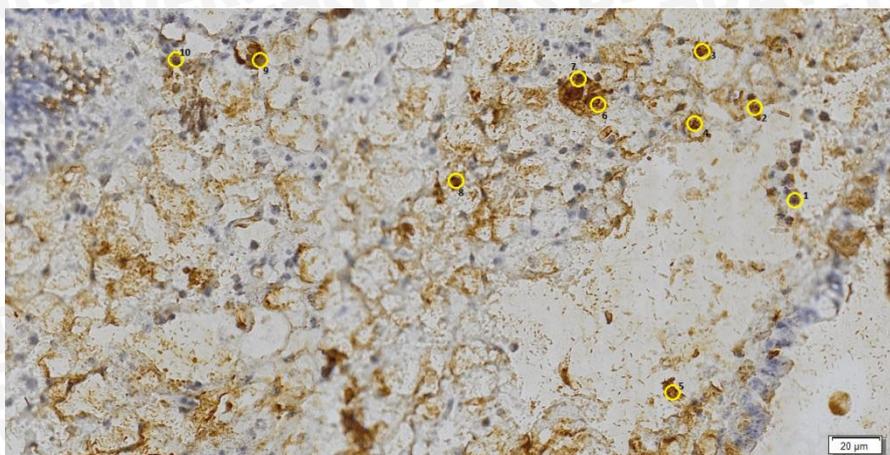
8) Stasiun 1, Plot 3 dan Lapang Pandang 2



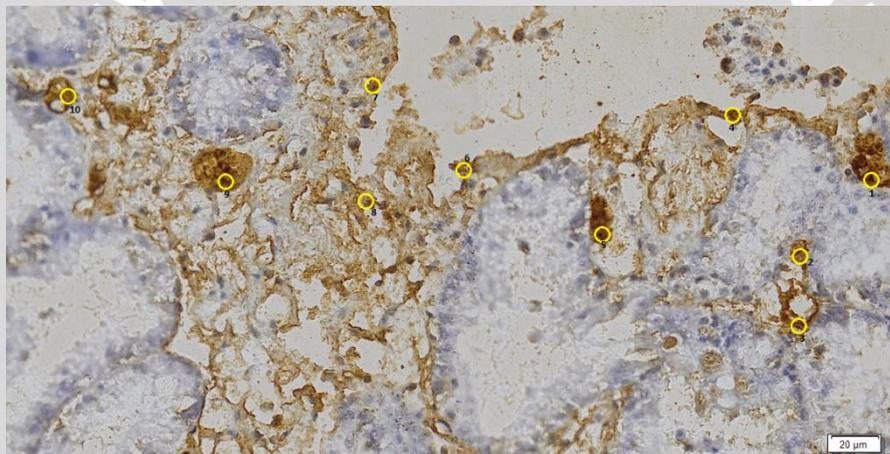
9) Stasiun 1, Plot 3 dan Lapang Pandang 3



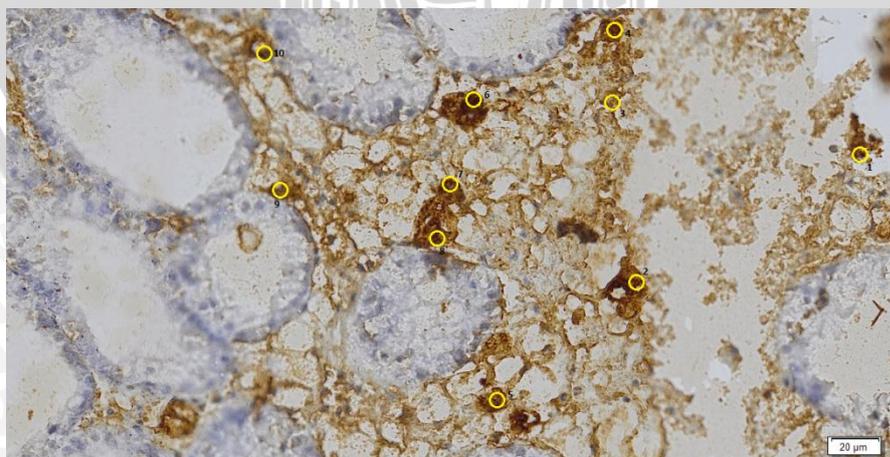
10) Stasiun 2, Plot 1 dan Lapangan Pandang 1



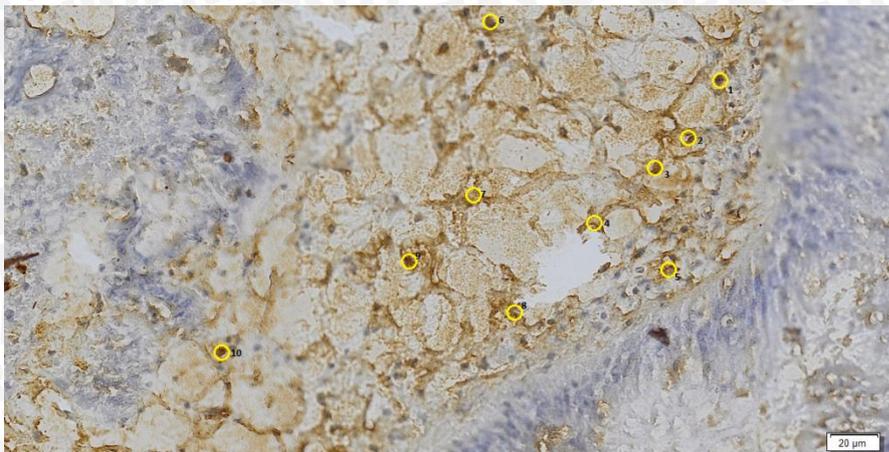
11) Stasiun 2, Plot 1 dan Lapangan Pandang 2



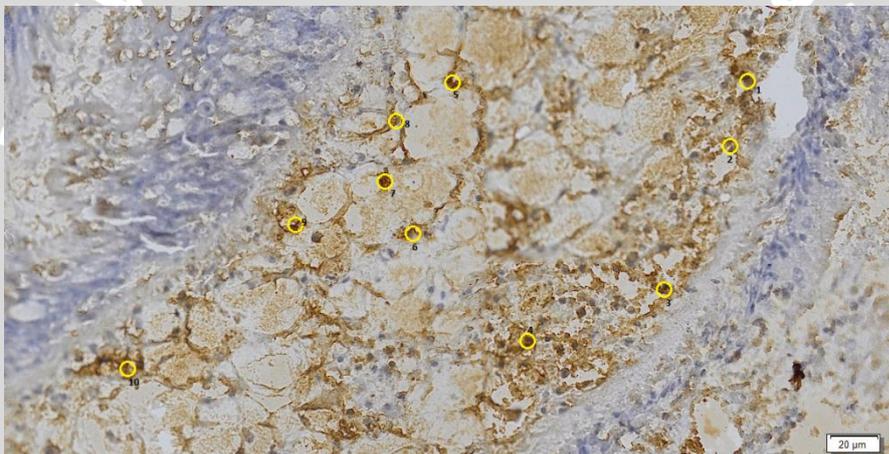
12) Stasiun 2, Plot 1 dan Lapangan Pandang 3



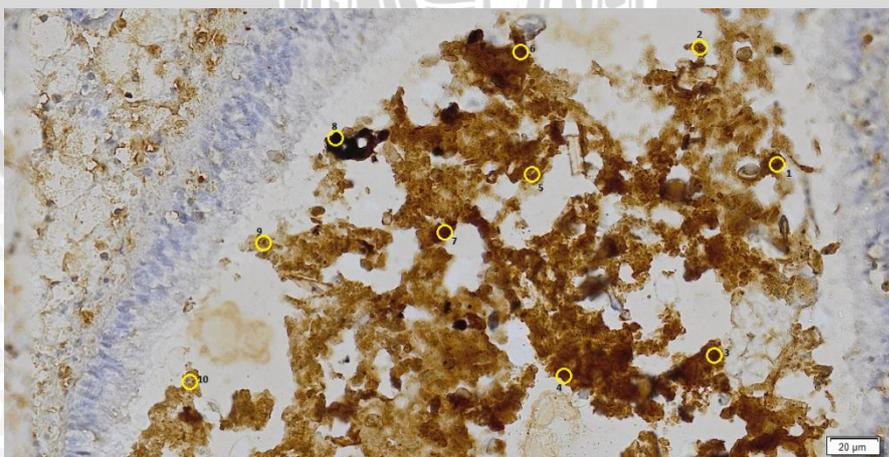
13) Stasiun 2, Plot 2 dan Lapang Pandang 1



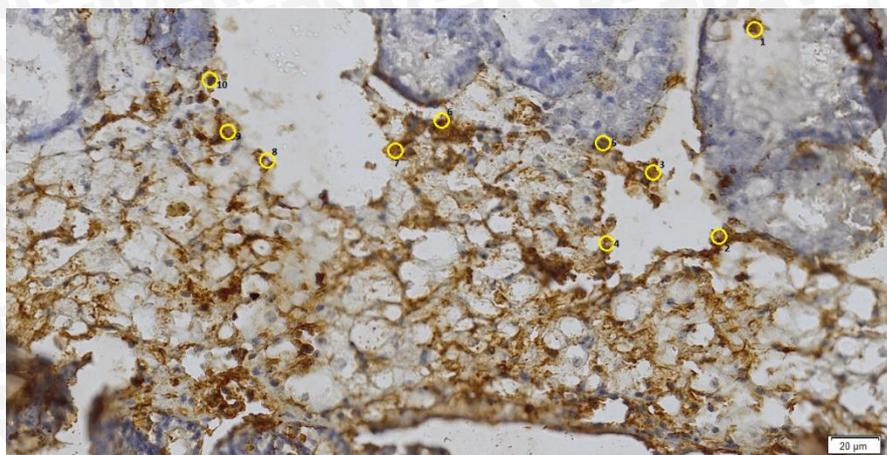
14) Stasiun 2, Plot 2 dan Lapang Pandang 2



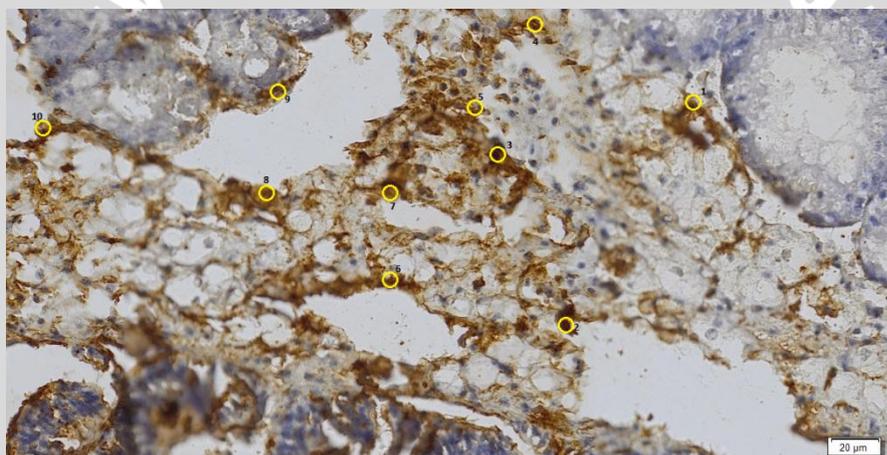
15) Stasiun 2, Plot 2 dan Lapang Pandang 3



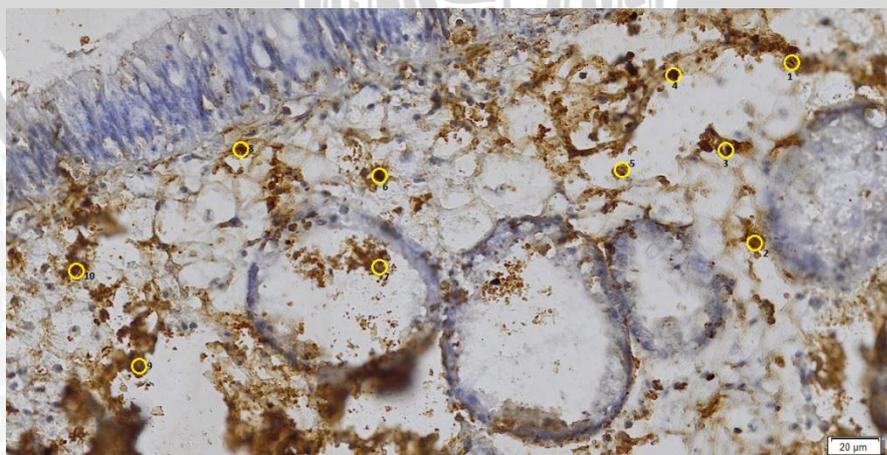
16) Stasiun 2, Plot 3 dan Lapang Pandang 1



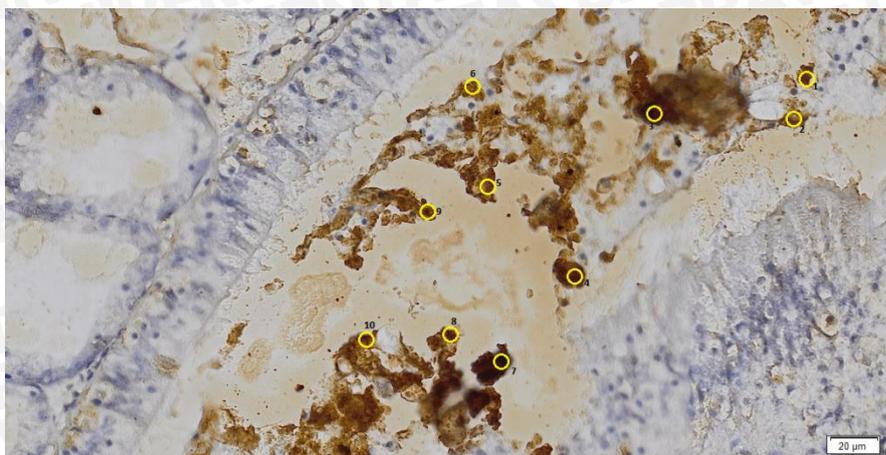
17) Stasiun 2, Plot 3 dan Lapang Pandang 2



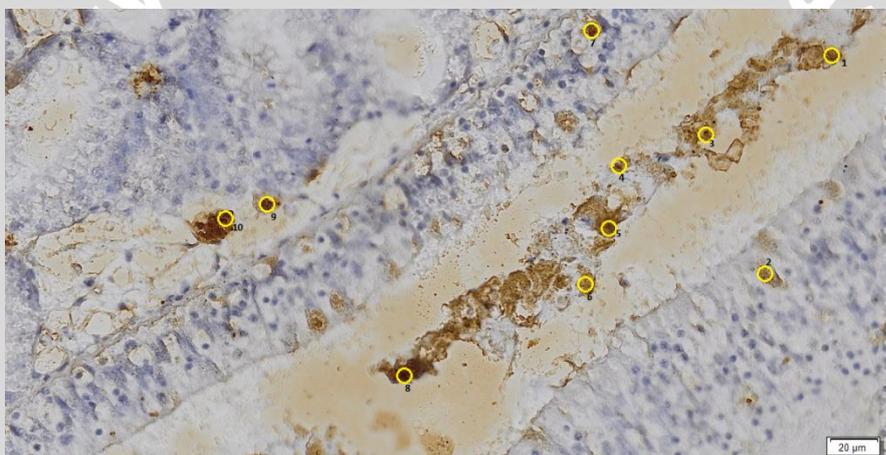
18) Stasiun 2, Plot 3 dan Lapang Pandang 3



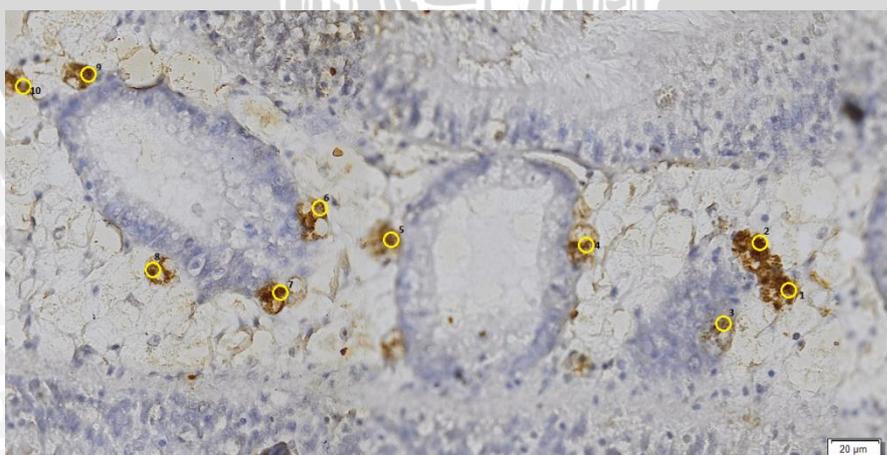
19) Stasiun 3, Plot 1 dan Lapang Pandang 1



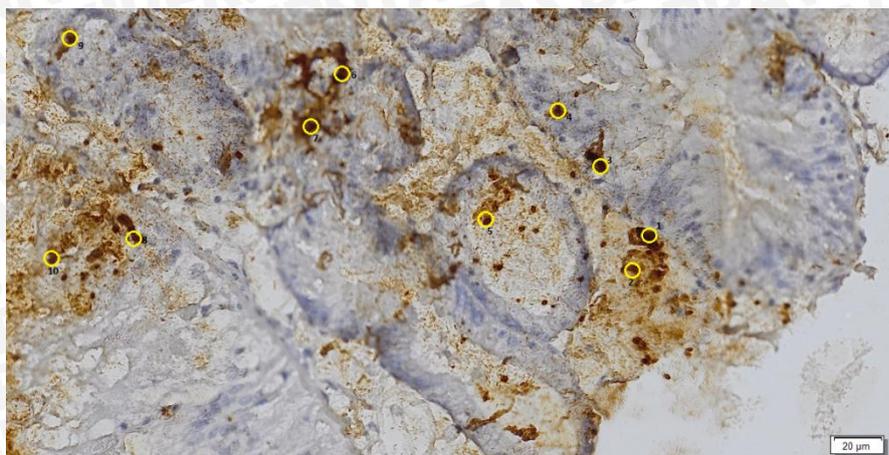
20) Stasiun 3, Plot 1 dan Lapang Pandang 2



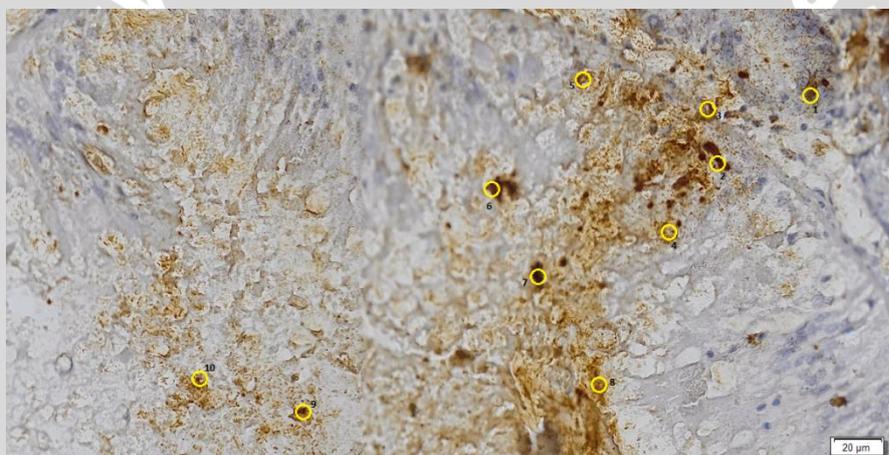
21) Stasiun 3, Plot 1 dan Lapang Pandang 3



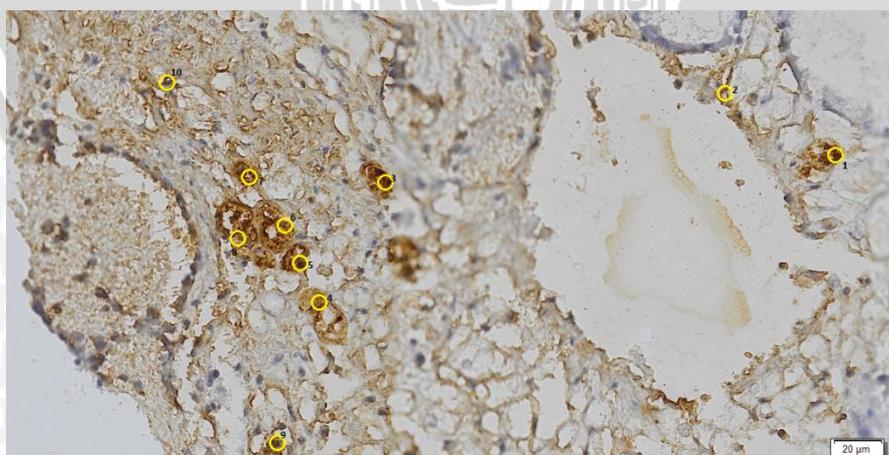
22) Stasiun 3, Plot 2 dan Lapang Pandang 1



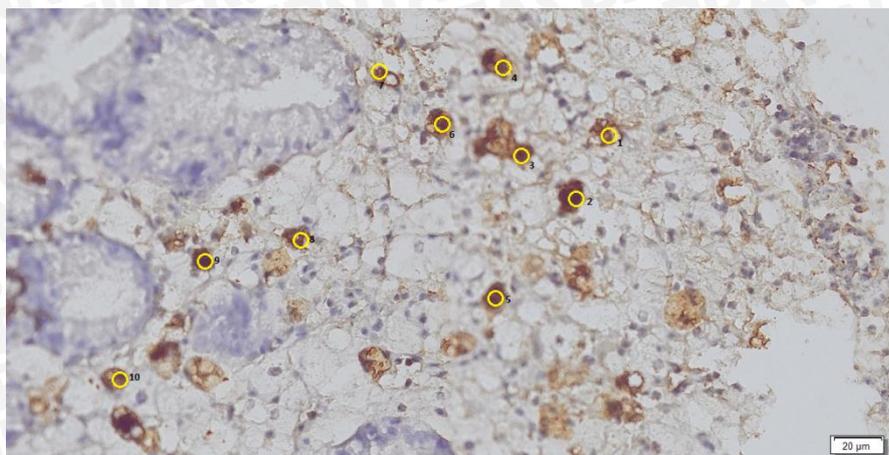
23) Stasiun 3, Plot 2 dan Lapang Pandang 2



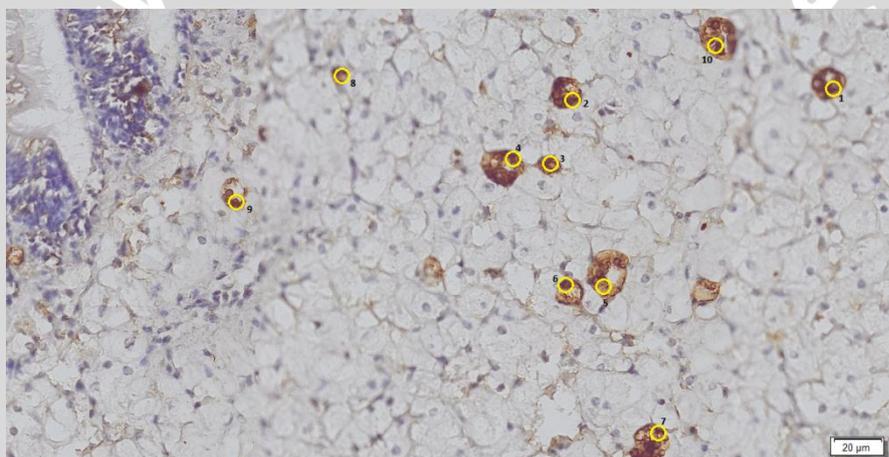
24) Stasiun 3, Plot 2 dan Lapang Pandang 3



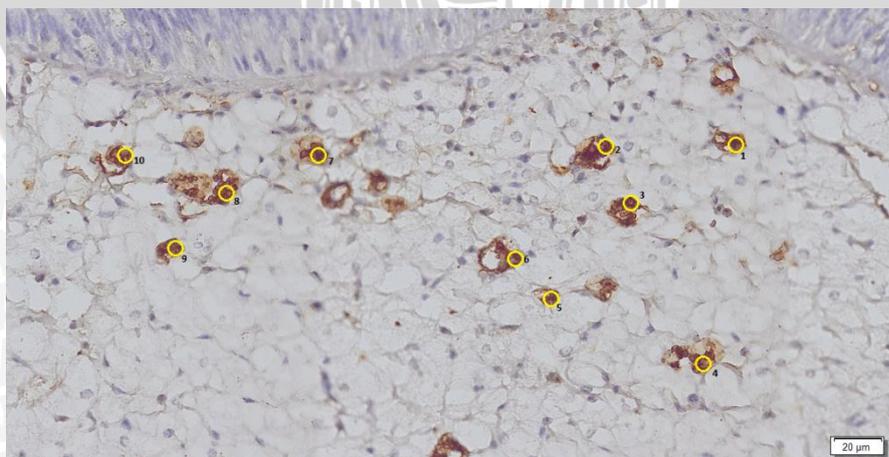
25) Stasiun 3, Plot 3 dan Lapang Pandang 1



26) Stasiun 3, Plot 3 dan Lapang Pandang 2



27) Stasiun 3, Plot 3 dan Lapang Pandang 3



**Lampiran 8. Output Analisis Regresi Berganda antara Hubungan Ukuran Tiram dan Logam Berat (Pb, Cd dan Hg) dengan Densitas dan Intensitas Metallothionein di Lambung**

**a. Hubungan Ukuran Tiram dan Logam Berat Pb dengan Densitas Metallothionein di Lambung**

**Variables Entered/Removed<sup>b</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Ukuran, Pb <sup>a</sup>	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Densitas

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.812 <sup>a</sup>	.659	.545	49.37973

a. Predictors: (Constant), Ukuran, Pb

b. Dependent Variable: Densitas

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	28278.420	2	14139.210	5.799	.040 <sup>a</sup>
	Residual	14630.148	6	2438.358		
	Total	42908.569	8			

a. Predictors: (Constant), Ukuran, Pb

b. Dependent Variable: Densitas

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	-97.745	83.037		-1.177	.284		
	Pb	150.683	55.657	.654	2.707	.035	.973	1.028
	Ukuran	43.902	27.582	.385	1.592	.163	.973	1.028

a. Dependent Variable: Densitas

**Collinearity Diagnostics<sup>a</sup>**

Model	Dimensi n	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Pb	Ukuran
1	1	2.909	1.000	.00	.01	.01
	2	.067	6.585	.04	.91	.20
	3	.024	10.947	.95	.08	.79

a. Dependent Variable: Densitas

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	61.8890	224.3920	1.5579E2	59.45421	9
Std. Predicted Value	-1.579	1.154	.000	1.000	9
Standard Error of Predicted Value	18.636	36.861	27.911	6.165	9
Adjusted Predicted Value	45.8182	244.5751	1.5282E2	65.46274	9
Residual	-6.22130E1	58.45257	.00000	42.76410	9
Std. Residual	-1.260	1.184	.000	.866	9
Stud. Residual	-1.487	1.391	.026	1.064	9
Deleted Residual	-8.66371E1	91.90746	2.97091	66.03056	9
Stud. Deleted Residual	-1.708	1.543	.025	1.135	9
Mahal. Distance	.251	3.569	1.778	1.134	9
Cook's Distance	.018	.590	.195	.197	9
Centered Leverage Value	.031	.446	.222	.142	9

a. Dependent Variable: Densitas



## b. Hubungan Ukuran Tiram dan Logam Berat Cd dengan Densitas Metallothionein di Lambung

### Variables Entered/Removed<sup>b</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Ukuran, Cd <sup>a</sup>		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Densitas

### Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.620 <sup>a</sup>	.385	.180	66.52648

a. Predictors: (Constant), Ukuran, Cd

b. Dependent Variable: Densitas

### ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	16618.596	2	8309.298	1.877	.233 <sup>a</sup>
	Residual	26554.633	6	4425.772		
	Total	43173.229	8			

a. Predictors: (Constant), Ukuran, Cd

b. Dependent Variable: Densitas

### Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	67.681	110.438		.613	.562		
	Cd	-844.894	713.335	-.509	-1.184	.281	.554	1.805
	Ukuran	95.153	49.238	.831	1.933	.101	.554	1.805

a. Dependent Variable: Densitas

**Collinearity Diagnostics<sup>a</sup>**

Model	Dimensi n	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Cd	Ukuran
1	1	2.957	1.000	.00	.00	.00
	2	.027	10.397	.97	.09	.25
	3	.016	13.644	.03	.90	.75

a. Dependent Variable: Densitas

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	88.1554	230.8199	1.5609E2	45.57768	9
Std. Predicted Value	-1.490	1.640	.000	1.000	9
Standard Error of Predicted Value	25.992	49.346	37.751	7.512	9
Adjusted Predicted Value	70.5164	300.5681	1.6392E2	65.69025	9
Residual	-6.59228E1	76.28245	.00000	57.61362	9
Std. Residual	-.991	1.147	.000	.866	9
Stud. Residual	-1.278	1.278	-.047	1.055	9
Deleted Residual	-1.26768E2	94.80415	-7.82728	87.34631	9
Stud. Deleted Residual	-1.368	1.368	-.055	1.101	9
Mahal. Distance	.332	3.513	1.778	1.007	9
Cook's Distance	.001	.666	.185	.204	9
Centered Leverage Value	.042	.439	.222	.126	9

a. Dependent Variable: Densitas



### c. Hubungan Ukuran Tiram dan Logam Berat Hg dengan Densitas Metallothionein di Lambung

#### Variables Entered/Removed<sup>b</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Ukuran, Hg <sup>a</sup>		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Densitas

#### Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.761 <sup>a</sup>	.580	.440	54.99536

a. Predictors: (Constant), Ukuran, Hg

b. Dependent Variable: Densitas

#### ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	25026.288	2	12513.144	4.137	.074 <sup>a</sup>
	Residual	18146.941	6	3024.490		
	Total	43173.229	8			

a. Predictors: (Constant), Ukuran, Hg

b. Dependent Variable: Densitas

#### Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	-74.336	89.843		-.827	.440		
	Hg	1098.204	499.560	.627	2.198	.070	.861	1.162
	Ukuran	29.393	32.663	.257	.900	.403	.861	1.162

**Variables Entered/Removed<sup>b</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Ukuran, Hg <sup>a</sup>		Enter

a. Dependent Variable: Densitas

**Collinearity Diagnostics<sup>a</sup>**

Model	Dimensi on	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Hg	Ukuran
1	1	2.931	1.000	.00	.01	.00
	2	.043	8.243	.13	.99	.20
	3	.026	10.709	.87	.01	.79

a. Dependent Variable: Densitas

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	96.0695	259.2690	1.5609E2	55.93108	9
Std. Predicted Value	-1.073	1.845	.000	1.000	9
Standard Error of Predicted Value	20.315	44.999	30.491	9.397	9
Adjusted Predicted Value	109.8591	278.9510	1.6495E2	61.23325	9
Residual	-5.00557E1	81.26630	.00000	47.62738	9
Std. Residual	-.910	1.478	.000	.866	9
Stud. Residual	-1.297	1.590	-.063	1.001	9
Deleted Residual	-1.05151E2	94.10721	-8.86484	65.67066	9
Stud. Deleted Residual	-1.395	1.908	-.007	1.118	9
Mahal. Distance	.203	4.467	1.778	1.626	9
Cook's Distance	.008	.658	.133	.204	9
Centered Leverage Value	.025	.558	.222	.203	9

a. Dependent Variable: Densitas



#### d. Hubungan Ukuran Tiram dan Logam Berat Pb dengan Intensitas Metallothionein di Lambung

Variables Entered/Removed<sup>b</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Ukuran, Pb <sup>a</sup>		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Intensitas

Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.712 <sup>a</sup>	.507	.343	1602.15028

a. Predictors: (Constant), Ukuran, Pb

b. Dependent Variable: Intensitas

ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.584E7	2	7919746.885	3.085	.120 <sup>a</sup>
	Residual	1.540E7	6	2566885.520		
	Total	3.124E7	8			

a. Predictors: (Constant), Ukuran, Pb

b. Dependent Variable: Intensitas

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	12819.511	2694.190		4.758	.003		
	Pb	-708.596	1805.833	-.114	-.392	.708	.973	1.028
	Ukuran	2222.997	894.915	.722	2.484	.048	.973	1.028

a. Dependent Variable: Intensitas

**Collinearity Diagnostics<sup>a</sup>**

Model	Dimensi n	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Pb	Ukuran
1	1	2.909	1.000	.00	.01	.01
	2	.067	6.585	.04	.91	.20
	3	.024	10.947	.95	.08	.79

a. Dependent Variable: Intensitas

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	1.6590E4	2.0651E4	1.7995E4	1407.10224	9
Std. Predicted Value	-.999	1.888	.000	1.000	9
Standard Error of Predicted Value	604.639	1195.963	905.573	200.027	9
Adjusted Predicted Value	1.5862E4	1.9902E4	1.7783E4	1433.17738	9
Residual	-2.94594E3	2.05553E3	.00000	1387.50284	9
Std. Residual	-1.839	1.283	.000	.866	9
Stud. Residual	-2.021	1.508	.053	1.007	9
Deleted Residual	-3.55925E3	2.83866E3	2.11960E2	1904.21800	9
Stud. Deleted Residual	-3.266	1.746	-.059	1.385	9
Mahal. Distance	.251	3.569	1.778	1.134	9
Cook's Distance	.007	.329	.123	.139	9
Centered Leverage Value	.031	.446	.222	.142	9

a. Dependent Variable: Intensitas



### e. Hubungan Ukuran Tiram dan Logam Berat Cd dengan Intensitas Metallothionein di Lambung

Variables Entered/Removed<sup>b</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Ukuran, Cd <sup>a</sup>		. Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Intensitas

Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.762 <sup>a</sup>	.581	.441	1477.59046

a. Predictors: (Constant), Ukuran, Cd

b. Dependent Variable: Intensitas

ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.814E7	2	9070582.718	4.155	.074 <sup>a</sup>
	Residual	1.310E7	6	2183273.575		
	Total	3.124E7	8			

a. Predictors: (Constant), Ukuran, Cd

b. Dependent Variable: Intensitas

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	13548.165	2452.886		5.523	.001		
	Cd	-17608.878	15843.577	-.395	-1.111	.309	.554	1.805
	Ukuran	2976.759	1093.596	.967	2.722	.035	.554	1.805

a. Dependent Variable: Intensitas

**Collinearity Diagnostics<sup>a</sup>**

Model	Dimensi	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Cd	Ukuran
1	1	2.957	1.000	.00	.00	.00
	2	.027	10.397	.97	.09	.25
	3	.016	13.644	.03	.90	.75

a. Dependent Variable: Intensitas

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	1.5883E4	2.0734E4	1.7995E4	1505.87041	9
Std. Predicted Value	-1.403	1.819	.000	1.000	9
Standard Error of Predicted Value	577.291	1096.013	838.460	166.841	9
Adjusted Predicted Value	1.5127E4	2.0106E4	1.7973E4	1603.70205	9
Residual	-2.27720E3	2.11662E3	.00000	1279.63088	9
Std. Residual	-1.541	1.432	.000	.866	9
Stud. Residual	-1.892	1.597	.005	1.035	9
Deleted Residual	-3.43036E3	2.63054E3	2.24904E1	1844.67902	9
Stud. Deleted Residual	-2.718	1.923	-.049	1.293	9
Mahal. Distance	.332	3.513	1.778	1.007	9
Cook's Distance	.000	.604	.144	.192	9
Centered Leverage Value	.042	.439	.222	.126	9

a. Dependent Variable: Intensitas



## f. Hubungan Ukuran Tiram dan Logam Berat Hg dengan Intensitas Metallothionein di Lambung

Variables Entered/Removed<sup>b</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Ukuran, Hg <sup>a</sup>		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Intensitas

Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.919 <sup>a</sup>	.844	.792	901.58050

a. Predictors: (Constant), Ukuran, Hg

b. Dependent Variable: Intensitas

ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.636E7	2	1.318E7	16.217	.004 <sup>a</sup>
	Residual	4877084.376	6	812847.396		
	Total	3.124E7	8			

a. Predictors: (Constant), Ukuran, Hg

b. Dependent Variable: Intensitas

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	10049.004	1472.861		6.823	.000		
	Hg	30016.641	8189.663	.637	3.665	.011	.861	1.162
	Ukuran	1432.134	535.470	.465	2.675	.037	.861	1.162

a. Dependent Variable: Intensitas

**Collinearity Diagnostics<sup>a</sup>**

Model	Dimensi n	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Hg	Ukuran
1	1	2.931	1.000	.00	.01	.00
	2	.043	8.243	.13	.99	.20
	3	.026	10.709	.87	.01	.79

a. Dependent Variable: Intensitas

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	1.6101E4	2.1135E4	1.7995E4	1815.34165	9
Std. Predicted Value	-1.044	1.730	.000	1.000	9
Standard Error of Predicted Value	333.036	737.710	499.855	154.049	9
Adjusted Predicted Value	1.5740E4	2.0868E4	1.8007E4	1640.07398	9
Residual	-1.19181E3	9.57468E2	.00000	780.79162	9
Std. Residual	-1.322	1.062	.000	.866	9
Stud. Residual	-1.463	1.246	.000	1.054	9
Deleted Residual	-1.85145E3	1.51969E3	-1.23821E1	1231.19540	9
Stud. Deleted Residual	-1.665	1.321	-.011	1.112	9
Mahal. Distance	.203	4.467	1.778	1.626	9
Cook's Distance	.006	.941	.223	.311	9
Centered Leverage Value	.025	.558	.222	.203	9

a. Dependent Variable: Intensitas

