

repository.ub.ac.id

**HEMOSIT (*Differential Haemocyte Count*) TIRAM (*Crassotrea iredalei*)  
YANG TERCEMAR LOGAM BERAT Pb, Hg, Cd DARI PERAIRAN  
PANTAI DALEGAN DAN PANTAI UJUNGPANGKAH KABUPATEN GRESIK  
JAWA TIMUR**

**SKRIPSI**

**PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN**

**JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN**

**Oleh:**

**AINUN SILVIA JAYANTI**

**NIM. 115080113111014**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2015**



**HEMOSIT (*Differential Haemocyte Count*) TIRAM (*Crassostrea iredalei*)  
YANG TERCEMAR LOGAM BERAT Pb, Hg, Cd DARI PERAIRAN  
PANTAI DALEGAN DAN PANTAI UJUNGPANGKAH KABUPATEN GRESIK  
JAWA TIMUR**

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

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Perikanan  
di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan  
Universitas Brawijaya

Oleh:

**AINUN SILVIA JAYANTI  
NIM.115080113111014**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2015**

SKRIPSI

HEMOSIT (*Differential Haemocyte Count*) TIRAM (*Crassostrea iredalei*)  
YANG TERCEMAR LOGAM BERAT Pb, Hg, Cd DARI PERAIRAN  
PANTAI DALEGAN DAN PANTAI UJUNGPANGKAH KABUPATEN GRESIK  
JAWA TIMUR

Oleh:

AINUN SILVIA JAYANTI

NIM. 115080113111014

telah dipertahankan di depan penguji  
pada tanggal 2 Juli 2015  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Penguji I

Prof. Ir. Yenny Risjani, DEA, Ph.D  
NIP. 19610523 198703 2 003

Tanggal: \_\_\_\_\_

Dosen Penguji II

Dr. Ir. Mulyanto, M.Si  
NIP. 19600317 198602 1 001

Tanggal: \_\_\_\_\_

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I

Dr. Yuni Kilawati., S.Pi, M.Si  
NIP. 19730702 200502 2 004

Tanggal: \_\_\_\_\_

Dosen Pembimbing II

Dr. Uun Yanuhar., S.Pi, M.Si  
NIP. 19730404 200212 2 001

Tanggal: \_\_\_\_\_

Mengetahui,  
Ketua Jurusan MSP

Dr. Ir. Arning Wiluieng Ekawati, MS  
NIP. 19620805 198603 2 001

Tanggal: \_\_\_\_\_

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam 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 skripsi ini hasil penjiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.



Malang, 2 Juli 2015

Mahasiswa

Ainun Silvia Jayanti  
115080113111014

## RINGKASAN

**AINUN SILVIA JAYANTI.** Skripsi. Hemosit Tiram (*Crassostrea iredalei*) yang Tercemar Logam Berat Pb, Hg, Cd dari Perairan Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah Kabupaten Gresik Jawa Timur (dibawah bimbingan **Dr. Yuni Kilawati., S.Pi, M.Si** dan **Dr. Uun Yanuhar., S.Pi, M.Si**)

Masukan limbah organik dan anorganik secara langsung ke perairan mengakibatkan pencemaran perairan. Kandungan limbah industri, perikanan, domestik, yang dibuang ke pesisir utara Kabupaten Gresik, tepatnya di Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah mengakibatkan perairan tersebut terkontaminasi logam berat Pb, Hg, Cd. *Crassostrea iredalei* merupakan organisme *sedentary* dan *filter feeder* yang mudah terkontaminasi logam berat, sehingga sering digunakan sebagai indikator pencemaran perairan, selain itu tiram juga dikonsumsi oleh masyarakat Pesisir Gresik. Logam berat yang terakumulasi ke dalam tubuh tiram, dapat berpengaruh terhadap respon imun tiram dalam hal ini gambaran hemosit tiram atau *Differential Haemocyte Count* (DHC). Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2015 yang bertujuan untuk mengetahui hubungan logam berat Pb, Hg, Cd di perairan dengan hemosit *Crassostrea iredalei*. Metode yang digunakan adalah metode survei yang dijelaskan secara deskriptif di dua stasiun yakni Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah dengan masing-masing tiga titik pengambilan sampel pengamatan. Pantai Dalegan didominasi oleh limbah domestik, limbah *docking* dan sandaran kapal, dan limbah dari tempat pelelangan ikan serta pasar ikan, sedangkan Pantai Ujungpangkah didominasi oleh limbah *docking* dan sandaran kapal, limbah pengolahan kerang hijau, dan adanya *break water*. Sampel tiram *Crassostrea iredalei* diambil pada masing-masing titik di dua stasiun tersebut, kemudian diambil hemosit untuk dilakukan analisa DHC. Logam berat Pb, Hg, Cd diukur pada air dan daging tiram serta faktor pendukung kualitas air seperti suhu, pH, salinitas, oksigen terlarut, dan total bahan organik. *Differential Haemocyte Count* hyalinosit *Crassostrea iredalei* ditemukan lebih banyak daripada granulosit yakni sebanyak 67%-100% sedangkan granulosit sebanyak 16.67% - 33.33%, dan keduanya telah berada pada kondisi tidak normal tercemar. Pantai Ujungpangkah dan Dalegan mengandung logam berat Pb sebesar 0.013 dan 0.021 mg/l, Hg 0.011 dan 0.005 mg/l, dan Cd 0.004 dan 0.005 mg/l, berdasarkan KEPMENTLH (2004) kondisi tersebut telah melebihi ambang batas yang diperbolehkan untuk biota perairan. *Crassostrea iredalei* mampu mengakumulasi logam berat terutama Pb lebih tinggi daripada Hg dan Cd di perairan baik di Pantai Dalegan maupun Pantai Ujungpangkah, yakni sebesar 0.067 dan 0.112 mg/l, sedangkan mengakumulasi Hg sebesar 0.039 dan 0.083 mg/l dan Cd sebesar 0.046 dan 0.077 mg/l, kondisi tersebut dinyatakan masih dibawah ambang batas yang diperbolehkan untuk dikonsumsi berdasarkan keputusan BPOM (2009). Hasil analisis regresi korelasi logam berat Pb, Hg, Cd di daging tiram terhadap DHC diperoleh lebih signifikan dibandingkan dengan regresi korelasi logam berat di air terhadap DHC yakni dengan hubungan dan pengaruh sangat kuat. Hasil analisis regresi korelasi kadar logam berat Pb, Hg, Cd di perairan memiliki hubungan dan pengaruh yang sangat kuat terhadap akumulasi logam berat Pb, Hg, Cd di dalam daging tiram. Hasil pengukuran kualitas air suhu berkisar 30 °C – 37 °C, pH 8 – 9, salinitas 30 - 36‰, oksigen terlarut 5.5 – 16.9 mg/l, dan kandungan bahan organik 27.61 – 55.62 mg/l. Tingginya kandungan logam berat Pb, Hg, Cd yang terakumulasi pada daging tiram daripada di perairan, mengindikasikan bahwa tiram di pantai Ujungpangkah dan pantai Dalegan berbahaya untuk dikonsumsi oleh masyarakat.

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah-Mu penulis dapat menyajikan Laporan Skripsi yang berjudul **Hemosit (*Differential Haemocyte Count*) Tiram (*Crassostrea iredalei*) yang Tercemar Logam Berat (Pb, Hg, Cd) dari perairan Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah, Kabupaten Gresik, Jawa Timur**. Di dalam tulisan ini, disajikan pokok-pokok bahasan yang meliputi kandungan logam berat Pb, Hg, Cd di Perairan Ujungpangkah dan Dalegan, logam berat Pb, Hg, Cd yang terakumulasi pada daging *Crassostrea iredalei* serta logam berat Pb, Hg, Cd yang mempengaruhi *Differential Haemocyte Count* (DHC) tiram, hubungan pengaruh logam berat Pb, Hg, Cd di perairan terhadap daging tiram serta terhadap DHC *Crassostrea iredalei*.

Sangat disadari bahwa dengan kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis, walaupun telah dikerahkan kemampuan untuk lebih teliti, tetapi masih dirasakan banyak kekurangtepatan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran yang membangun agar tulisan ini bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Malang, 2 Juli 2015

Penulis

## UCAPAN TERIMAKASIH

Allhamdulillah Wasyukurillah hamba panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan barokahnya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir sebagai syarat menyelesaikan pendidikan jenjang strata satu. Sholawat dan salam tak lupa tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya dan setulusnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penulisan ini diantaranya kepada :

1. Ibu **Sari Munawaroh** dan Bapak **Sucipto** tercinta, Adik - adik tersayang yakni **Gembong Ganes Wicaksono, Rozaklana Sandy Fadli, Muhammad Restu Sinar Permadi, dan Dony** atas dorongan yang kuat bak materi maupun spiritual dan kebijaksanaan serta do'a.
2. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, Malang yang telah memberikan fasilitas kuliah untuk dapat menunjang proses kegiatan skripsi.
3. Ibu **Dr. Yuni Kilawati., S.Pi, M.Si** selaku pembimbing pertama dan Ibu **Dr. Uun Yanuhar., S.Pi, M.Si** selaku pembimbing kedua yang telah merelakan waktunya untuk membimbing, mengarahkan, dan membekali pengetahuan dengan baik.
4. Ibu **Prof. Dr. Ir Diana Arfiati MS** yang sudah mengikutsertakan saya dalam proyek penelitian beliau.
5. Ibu **Prof. Ir. Yenny Risjani, DEA, Ph.D** selaku Dosen Penguji I dan Bapak **Dr. Ir. Mulyanto, M.Si** selaku Dosen Penguji II yang memberikan kesempatan kepada saya dalam memperbaiki laporan skripsi ini.
6. Ucapan terima kasih khusus penulis sampaikan kepada *Oyster team* (**Nuriyani, Attabik Mukhammad Amrilah, Siti Nur Asiyah, Mufarika,**

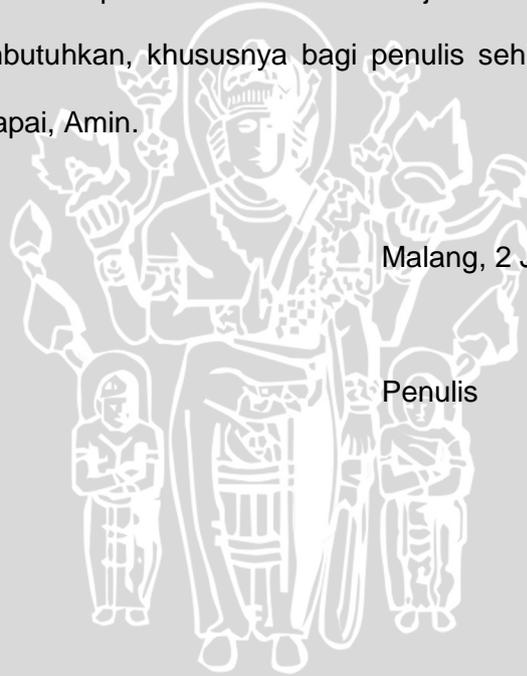
**Mar'atul Aziza, Ihin Tri Wahyuni, Lilis Shofakhoiriyah dan Zheta Andriawan)** yang sudah banyak membantu baik materi, tenaga, doa dan semangatnya.

7. Sahabat serta teman-teman MSP'11 seperjuangan yang selalu memberikan dukungannya dan memotivasi saya untuk terus belajar dan bekerja keras tanpa pantang menyerah.
8. Dan tak lupa kepada teman-teman Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya yang selalu mendukung dan mendoakan saya dalam penelitian ini.

Semoga laporan ini dapat bermanfaat dan menjadi sumbangan pemikiran bagi pihak yang membutuhkan, khususnya bagi penulis sehingga tujuan yang diharapkan dapat tercapai, Amin.

Malang, 2 Juli 2015

Penulis



DAFTAR ISI

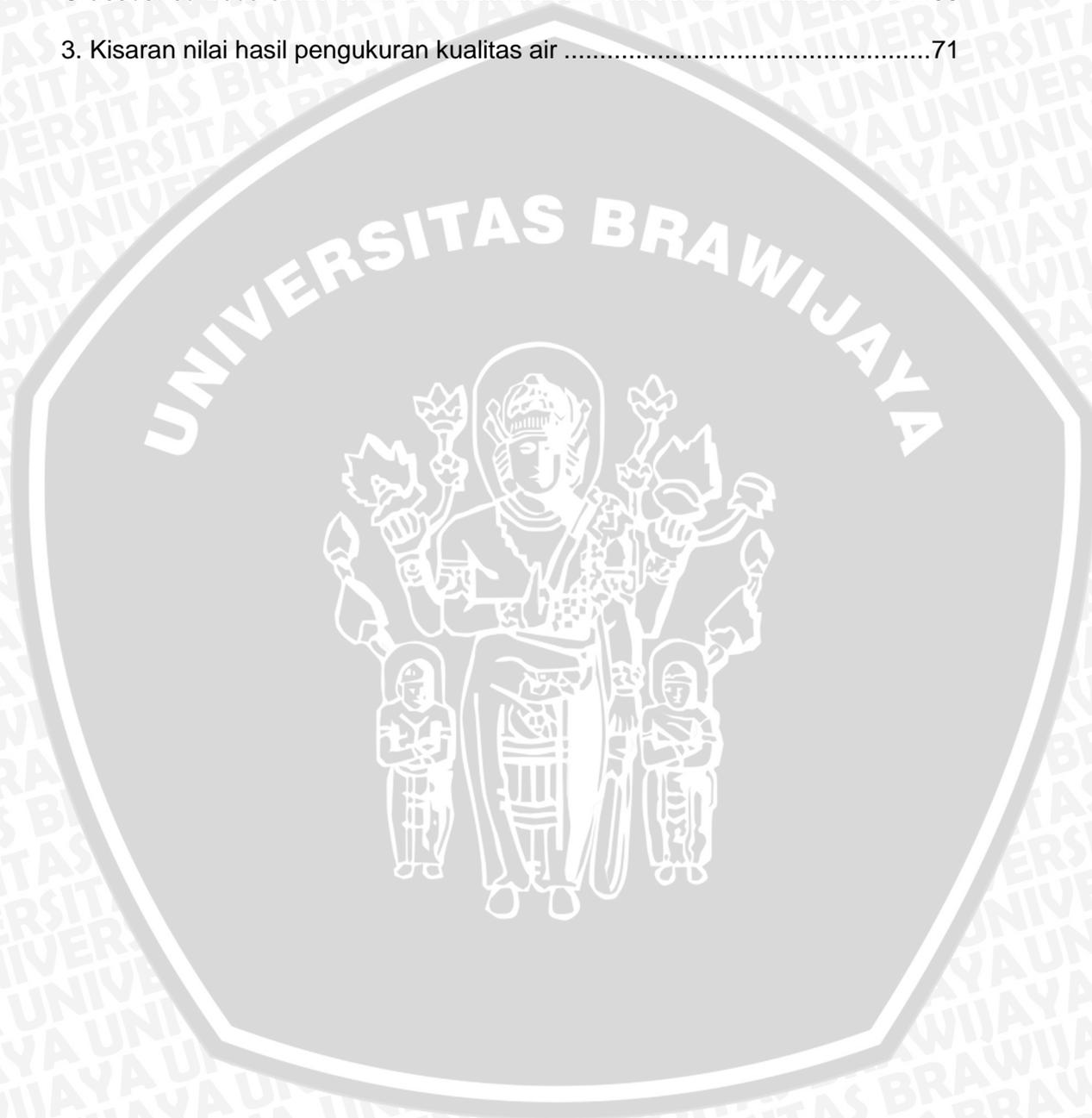
	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iv
RINGKASAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>1. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Kegunaan .....	3
1.5 Waktu dan Tempat .....	4
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pencemaran Logam Berat di Perairan .....	5
2.2 Biologi Tiram.....	8
2.3 Ekonomi Tiram.....	12
2.4 <i>Crassostrea iredalei</i> .....	13
2.5 Makanan dan Kebiasaan Makan.....	14
2.6 Penyerapan Logam Berat ke dalam Tubuh Tiram.....	14
2.7 Hemosit Tiram .....	15
2.8 Kualitas Air .....	18
<b>3. METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Materi Penelitian .....	20
3.2 Alat dan Bahan .....	20
3.3 Metode Penelitian .....	21
3.3.1 Pelaksanaan Penelitian .....	22
3.3.1.1 Penelitian Pendahuluan .....	22
3.3.1.2 Penelitian Utama .....	26



3.3.1.3 Pengukuran Kualitas Air .....	27
3.4 Analisa Data .....	31
<b>4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian .....	32
4.1.1 Stasiun Pengamatan 1.....	32
4.1.2 Stasiun Pengamatan 2.....	33
4.2 Analisis Logam Berat.....	34
4.2.1 Analisis Logam Berat Pada Air .....	35
4.2.2 Analisis Logam Berat Pada Tiram.....	40
4.3 Analisis <i>Different Haemocyte Count</i> Tiram.....	44
4.4 Analisis Hubungan Hemosit Tiram dengan Logam Berat di Perairan .....	53
4.5 Analisis Hubungan Hemosit Tiram dengan Logam Berat di Daging Tiram .....	60
4.6 Analisis Kadar Logam Berat pada air dan daging tiram.....	66
4.7 Analisis Kualitas Air .....	71
4.7.1 Suhu .....	72
4.7.2 Derajat Keasaman .....	73
4.7.3 Salinitas .....	74
4.7.4 Oksigen Terlarut .....	75
4.7.5 Total Bahan Organik.....	75
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	76
5.2 Saran.....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>87</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1.Perbedaan jenis haemocyte tiram S.glomerata.....	17
2.Rata - rata kandungan logam berat (Pb, Hg, Cd) pada air laut dan tiram <i>Crassostrea iredalei</i> .....	35
3. Kisaran nilai hasil pengukuran kualitas air .....	71



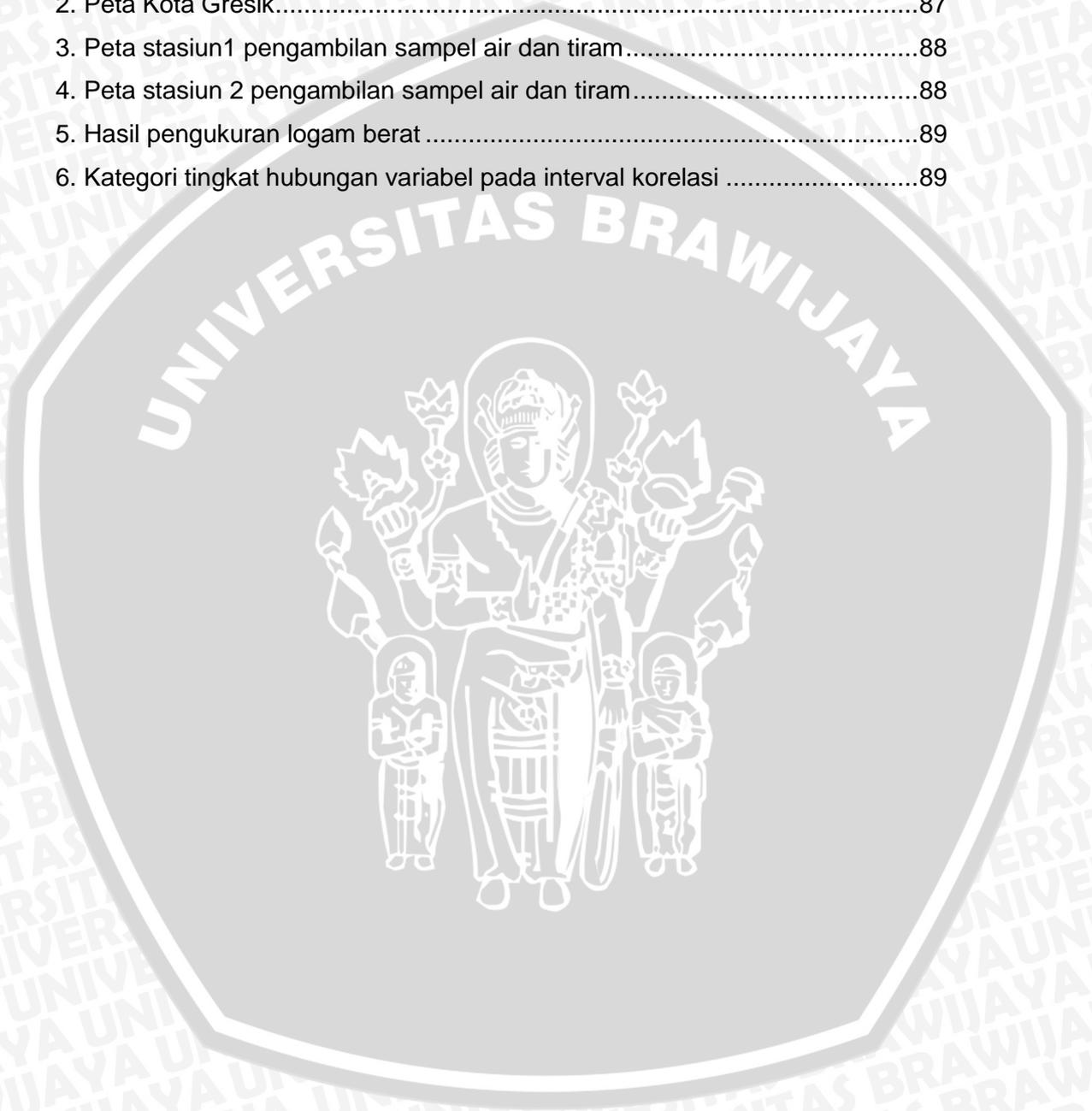
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Morofologi <i>Crassostrea iredalei</i> .....	10
2. Morfologi Bivalvia.....	11
3. Anatomi Bivalvia .....	12
4. Tipe haemocyte pada <i>S. glomerata</i> yang diamati dengan mikroskop cahaya .....	17
5. Stasiun Pengamatan 1.....	33
6. Stasiun Pengamatan 2.....	34
7. Grafik Kadar Logam Berat dalam air.....	36
8. Grafik Kadar Logam Berat daging tiram <i>Crassostrea iredalei</i> .....	40
9. Hasil Pengamatan Morfologi sel Granulosit, Sel Hyalin dengan menggunakan mikroskop cahaya perbesaan 100x.....	45
10. Aktivasi HSF dalam menginduksi HSP.....	49
11. Mekanisme eksprsersi stress lingkungan terhadap sistem imun nonadaptif .....	51
12. Grafik regresi linier Pb di air dengan granulosit dan hyalinosit .....	53
13. Grafik regresi linier Hg di air dengan granulosit dan hyalinosit .....	55
14. Grafik regresi linier Cd di air dengan granulosit dan hyalinosit .....	58
15. Grafik regresi linier Pb di daging dengan granulosit dan hyalinosit.....	59
16. Grafik regresi linier Pb di daging dengan granulosit dan hyalinosit.....	61
17. Grafik regresi linier Pb di daging dengan granulosit dan hyalinosit.....	63
18. Grafik hubungan Pb dalam air dengan daging tiram .....	66
19. Grafik hubungan Hg air dengan Hg daging tiram .....	67
20. Grafik hubungan logam berat Cd di air dengan Cd di tubuh tiram.....	69



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Pasang surut PPN Brondong, Gresik, Jawa Timur .....	86
2. Peta Kota Gresik.....	87
3. Peta stasiun1 pengambilan sampel air dan tiram.....	88
4. Peta stasiun 2 pengambilan sampel air dan tiram.....	88
5. Hasil pengukuran logam berat .....	89
6. Kategori tingkat hubungan variabel pada interval korelasi .....	89



## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan semakin meningkatnya industri di Indonesia, buangan limbah dari industri juga semakin meningkat, baik yang berasal dari bahan organik maupun anorganik, yang berupa padatan ataupun cairan yang mengandung logam berat (Putri dan Aunurohim, 2013). Konsentrasi logam berat yang berlebihan akan memberi tekanan terhadap pertumbuhan dan perkembangan suatu makhluk hidup (Handajani, 2011). Pemanfaatan perairan pesisir untuk kegiatan - kegiatan transportasi, industri atau pemukiman memberikan nilai positif untuk kesejahteraan manusia namun juga dapat memberikan potensi untuk menurunkan kualitas perairan. Pesisir merupakan wilayah yang sangat dinamis dengan perubahan biologis, kimiawi, dan geologis yang sangat cepat. Saat ini wilayah pesisir mengalami pelbagai tekanan baik yang berasal dari faktor proses alam maupun oleh faktor antropogenik yang makin tidak rasional dan menyebabkan kerusakan yang makin bertambah parah (Rudianto, 2014). Menurut Purnomo dan Muchyidin (2007), Gresik merupakan sub wilayah pengembangan bagian (SWPB) yang telah menjadi kawasan industri dari skala rumah tangga hingga skala mutinasional. Selain berbagai industri besar, juga terdapat empat pelabuhan yang didarati kapal-kapal besar sebagai salah satu aktivitas pendukung berjalannya industri - industri besar di Gresik. Aktivitas industri dan pelabuhan tersebut tentu akan menghasilkan limbah yang dibuang ke perairan disekitarnya. Limbah industri di wilayah Gresik dan sekitarnya akan memasuki sungai yang bermuara ke pantai. Berdasarkan Suryono (2013), pantai merupakan salah satu habitat yang baik bagi organisme laut baik yang menetap maupun migran. Masukan buangan yang mengandung logam berat tersebut, lama kelamaan akan menimbulkan dampak pada

organisme yang hidup di perairan tersebut terutama yang menetap (sesil). Pantai yang menjadi tempat buangan limbah industri di Kabupaten Gresik beberapa diantaranya yakni Pantai Ujungpangkah dan Pantai Dalegan. Penelitian yang dilakukan oleh Arfiati (2014), melaporkan bahwa perairan pesisir Pantai Ujungpangkah dan Pantai Dalegan telah mengalami pencemaran logam berat Pb, Hg, dan Cd.

Kekerangan merupakan jenis makanan laut yang banyak digemari oleh konsumen karena kelezatan rasanya dan kandungan gizi yang tinggi. Namun, untuk menjaga kualitas dan keamanan konsumen, perlu dipahami karakteristik kekerangan sebelum dilakukan peningkatan usaha penangkapan maupun budidaya (Setyono,2006). Bivalvia merupakan hewan *filter feeder*, yaitu mendapatkan makanannya dengan menghisap partikel organik bersama - sama dengan air melalui siphon dan disaring melalui insang (Nurfakih *et al.*,2013). Kerang telah digunakan oleh ahli ekologi dalam menganalisis pencemaran air, sehingga sering digunakan sebagai indikator pencemaran logam berat dalam lingkungan perairan (Taufiq dan Hartati, 2001). Hal ini dikarenakan kekerangan mempunyai pola hidup *sedentary*. Logam berat yang dilepas ke laut kemudian akan diserap oleh biota laut yang dapat berakibat pada penurunan respon imun dan mempengaruhi gambaran hemosit tiram (Setiawan *et al.*,2013). Penurunan respon imun dapat menyebabkan tiram mudah menyerap polutan dan dapat menyebabkan kematian biota tersebut (Cherkasov dan Sokolova, 2007). Kematian biota pada skala besar dapat mempengaruhi keseimbangan dalam ekosistem, sehingga penelitian ini dirasa perlu untuk dilakukan. Selain itu sampai pada saat ini penelitian tentang hemosit tiram khususnya *Differential Haemocyte Count* (DHC) di pesisir Kabupaten Gresik belum dilakukan, maka penelitian ini merupakan penelitian baru yang bersifat melengkapi data yang ada.

## 1.2 Rumusan Masalah

Masukan limbah dari berbagai aktivitas di Kabupaten atau Kota Gresik, Jawa Timur ke perairan dan bermuara di Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah, memiliki peluang sebagai sumber logam berat Pb, Hg, Cd. Tiram jenis *C.iredalei* banyak ditemukan di pesisir Utara Gresik dan sering dikonsumsi oleh masyarakat sekitar. Tiram memiliki sistem imun yang tidak berkembang sehingga sangat mudah terkontaminasi oleh bahan pencemar. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui kualitas sistem imun dari tiram yaitu dengan melakukan pengamatan *Differential Haemocyte Count*.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui kandungan logam berat Pb, Hg, Cd di air dan daging tiram *Crassostrea iredalei* dari perairan Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah dan hubungan pengaruh keduanya
2. Untuk mengetahui *Differential Haemocyte Count* tiram yang diambil dari perairan Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah yang tercemar logam berat Pb, Hg, Cd dan hubungan pengaruh keduanya

## 1.4 Kegunaan

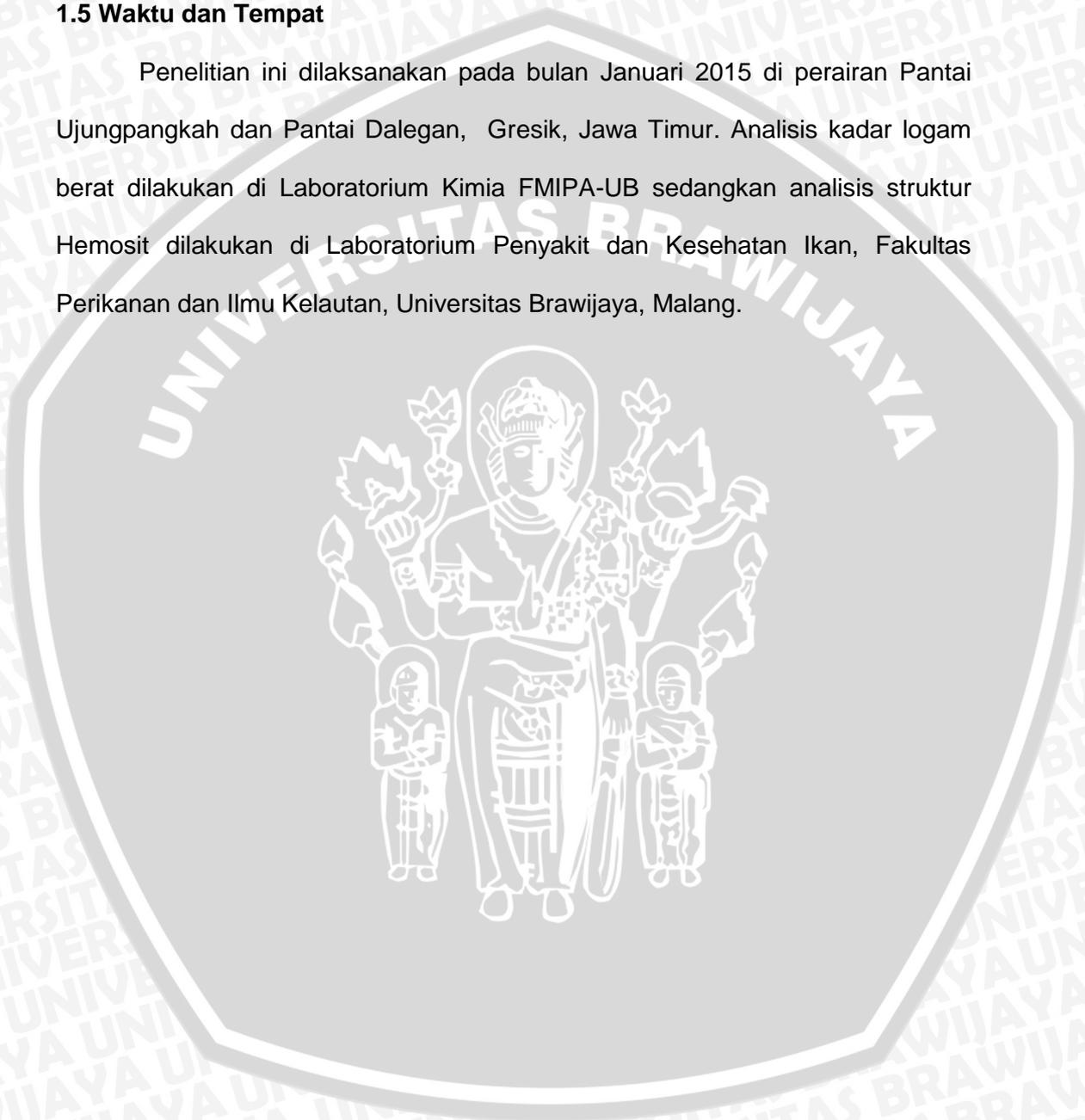
Kegunaan penelitian ini dibedakan menjadi dua yaitu kegunaan secara teoritis dan kegunaan secara praktis.

1. Kegunaan secara teoritis, yaitu diharapkan penelitian ini dapat memberikan sumber informasi ilmiah mengenai gambaran hemosit (DHC) *C.iredalei* yang tercemar logam berat Pb, Hg, Cd, sehingga nantinya dapat digunakan sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya untuk pengembangan penelitian DHC *Crassostrea* sp. di masa yang akan datang.

2. Kegunaan penelitian ini secara praktis, yaitu: Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjelaskan kepada masyarakat, agar lebih berhati-hati mengkonsumsi daging tiram yang ditangkap di Pesisir Gresik.

### 1.5 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2015 di perairan Pantai Ujungpangkah dan Pantai Dalegan, Gresik, Jawa Timur. Analisis kadar logam berat dilakukan di Laboratorium Kimia FMIPA-UB sedangkan analisis struktur Hemosit dilakukan di Laboratorium Penyakit dan Kesehatan Ikan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.



## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pencemaran Logam Berat di Perairan

Pencemaran lingkungan hidup menurut Undang-Undang No. 23 tahun 1997 adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (Sarjono, 2009). Logam berat dapat didefinisikan sebagai unsur-unsur yang mempunyai nomor atom 22 - 92 dan terletak pada periode 4 - 7 pada susunan berkala Mendeleev, mempunyai berat 5 gram atau lebih untuk setiap  $\text{cm}^3$ . Logam berat terdiri atas logam berat esensial dan logam berat nonesensial. Kelompok logam berat yang non esensial yang tidak mempunyai fungsi sama sekali dalam tubuh. Logam tersebut bahkan sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan (toksik) yaitu: timbal (Pb), merkuri (Hg), dan cadmium (Cd) (Agustina, 2010).

Kadar logam berat dalam air selalu berubah-ubah tergantung pada saat pembuangan limbah, tingkat kesempurnaan pengelolaan limbah dan musim. Logam berat yang terikat dalam sedimen relatif sukar untuk lepas kembali melarut dalam air, sehingga semakin banyak jumlah sedimen maka semakin besar kandungan logam berat di dalamnya. Unsur-unsur logam berat dapat masuk ke tubuh manusia melalui makanan dan minuman serta pernafasan dan kulit. Peningkatan kadar logam berat dalam air laut akan diikuti oleh peningkatan logam berat dalam biota yang ada didalamnya, sehingga pencemaran air laut oleh logam berat akan mengakibatkan biota yang hidup di dalamnya tercemar. Pemanfatan biota - biota tersebut sebagai bahan makanan akan membahayakan kesehatan manusia (Purnomo dan Muchiyidin, 2007). Salah satu logam berat yang banyak dihasilkan dari buangan industri adalah timbal (Pb) (Jupriyanti et

al.,2013).Logam berat yang berbahaya bagi organisme termasuk kedalam logam berat nonesensial, seperti Pb (timbal), Cd (Cadmium) dan Hg (merkuri). Pb banyak digunakan di industri non pangan dan paling banyak menimbulkan keracunan pada makhluk hidup. Senyawa ini banyak ditemukan dalam pertambangan di seluruh dunia (Agustina, 2010). Timbal mudah larut dalam asam nitrat dan menghasilkan senyawa timbal nitrat dan air. Timbal terdapat dalam air karena adanya kontak antara air dengan tanah atau udara tercemar timbal, air yang tercemar oleh limbah industri atau akibat korosi pipa (Purnomo dan Muchiyidin, 2007).

Timbal (Pb) merupakan salah satu unsur logam berat yang tidak dapat terurai oleh proses alam. Secara alamiah, Pb dapat masuk ke dalam badan perairan melalui pengkristalan di udara dengan bantuan air hujan dan melalui proses modifikasi dari batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin. Pb yang masuk ke dalam badan perairan juga merupakan dampak dari aktivitas kehidupan manusia dari daratan (Jupriyati *et al.*, 2013). Kurang dari 75% timbal yang ditambahkan pada bahan bakar minyak akan diemisikan kembali ke atmosfer. Hal inilah yang kemudian menyebabkan pencemaran udara disebabkan oleh timbal (Sarjono, 2009). Timbal relatif dapat larut dalam air dengan pH <5. Kadar dan toksisitas timbal diperairan dipengaruhi oleh kesadahan, pH, alkalinitas, dan kadar oksigen (Effendi, 2003). Konsumsi mingguan elemen timbal yang direkomendasikan oleh WHO toleransinya bagi orang dewasa adalah 50µg/kg berat badan dan untuk bayi atau anak-anak 25 µg/kg berat badan (Sarjono, 2009).

Merkuri (Hg) atau air raksa adalah logam yang ada secara alami, merupakan satu-satunya logam yang pada suhu kamar berwujud cair, walaupun Hg hanya terdapat dalam konsentrasi 0,08 mg/kg pada kerak bumi, dan banyak tertimbun di daerah penambangan. Manusia telah menggunakan merkuri oksida (HgO) dan

merkuri sulfida (HgS) sebagai zat pewarna dan bahan kosmetik (kream pemutih) diduga juga untuk pewarna bibir dan krim antiseptik. Merkuri digunakan secara meluas dalam produk lampu neon, baterai, thermometer, industri pembuatan cat, pembuatan gigi palsu, peleburan emas, pembasmi serangga (racun tikus) dan lain-lain. Merkuri merupakan logam berat berbahaya yang bisa menimbulkan gangguan kesehatan, salah satunya yaitu kerusakan DNA dan kromosom (Agustina, 2010).

Merkuri di perairan dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu pertama oleh kegiatan perindustrian seperti pabrik cat, kertas, peralatan listrik, kedua oleh alam itu sendiri melalui proses pelapukan batuan dan peletusan gunung berapi. Senyawa ini sangat beracun dan diperkirakan 4 – 31 kali lebih beracun dari bentuk merkuri inorganik. Selain itu, merkuri dalam bentuk organik yang umumnya berada pada konsentrasi rendah di air dan sedimen adalah bersifat sangat bioakumulatif (terserap secara biologis). Merkuri yang terdapat dalam limbah atau *waste* di perairan umum diubah oleh aktifitas mikroorganisme menjadi komponen metil merkuri ( $\text{CH}_3\text{-Hg}$ ) yang memiliki sifat racun dan daya ikat yang kuat. Terjadinya proses akumulasi merkuri di dalam tubuh hewan air, karena kecepatan pengambilan merkuri oleh organisme air lebih cepat dibandingkan dengan proses ekskresi (Putranto, 2011). Merkuri diperbolehkan untuk air minum tidak lebih dari  $0.3 \mu\text{g/liter}$  (Sarjono, 2009).

Kadmium (Cd) adalah logam berwarna putih keperakan menyerupai aluminium. Logam ini sering digunakan sebagai pigmen pada keramik, penyepuhan listrik, cat, karet, sabun, kembang api, percetakan tekstil, pigmen gelas, email gigi dan baterai alkali. Sifat racun Cd terhadap ikan yang hidup dalam air laut berkisar antara 10 sampai 100 kali lebih rendah dari pada dalam air tawar yang memiliki tingkat kesadahan lebih rendah. Toksisitas kadmium meningkat dengan menurunnya kadar oksigen dan kesadahan, serta

meningkatnya suhu dan menurunnya pH. Sedangkan toksisitas kadmium turun pada salinitas dengan kondisi isotonis dengan cairan tubuh hewan bersangkutan. Peningkatan salinitas dapat mengurangi sifat racun Cd maupun Hg terhadap kehidupan hewan air (Sarjono, 2009). Kadmium ditemukan di kulit bumi ataupun hasil letusan gunung vulkanik. Selain itu kadmium dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia, baik disengaja maupun tidak disengaja, seperti penggunaan bahan bakar, kebakaran hutan, limbah industri maupun penggunaan pupuk dan pestisida. Bahan bakar dan minyak pelumas mengandung Cd sampai 0,5 ppm, batubara mengandung Cd sampai 2 ppm, pupuk superpospat juga mengandung Cd bahkan ada yang sampai 170 ppm. Konsentrasi Cd pada air laut yang tidak tercemar adalah kurang dari 1 mg/l atau kurang dari 1 mg/kg sedimen laut (Agustina, 2010). Kadar kadmium di perairan alami sangat rendah sekitar 1µg/l. FAO/WHO dalam Sarjono (2009) menyatakan, konsumsi Cd per minggu yang di toleransikan bagi manusia adalah 400-500µg/orang atau 7µg/kg berat badan.

## 2.2 Biologi Tiram

Tiram adalah golongan kerang - kerangan (*Bivalve*) yang mempunyai cangkang setangkup, secara umum dikenal dengan nama *Oyster*. Perbedaan tiram dengan kerang yaitu pada cangkang dan tempat hidupnya. Tiram hidup menempel pada substrat kayu atau batu, sedangkan kerang relatif dapat bergerak dan hidup di pasir atau masuk ke dalam pasir di dasar perairan. Cangkang tiram sedikit tidak beraturan, sedangkan cangkang kerang tertentu memiliki bentuk dan ukuran yang sama pada kedua belah cangkang tersebut. Cangkang tiram terdiri dari dua macam yaitu bagian mangkok disebut dengan cangkang kiri dan merupakan bagian yang menempel pada substrat atau sering juga disebut dengan cangkang bawah, sedangkan cangkang kanan atau

cangkang atas merupakan bagian tutup dengan bentuk relatif datar (Quayle dan Newkirk, 1989 dalam Arfiati 2003). Akar dan batang tumbuhan mangrove yang berada antara tinggi air pasang sedang dan tinggi air pasang maksimum merupakan habitat bagi bivalvia yang menempel pada batang dengan menggunakan byssus atau semennya, dan pada pohon-pohon tersebut, terutama pohon bakau didapatkan anak-anak tiram (spat) yang menempel pada akar dan batang yang masih dipengaruhi pasang surut perairan (Widiastuti, 1998).

Bivalvia adalah *dioecious*, namun ada beberapa yang hermaphrodit seperti pada *Ostrea* (oysters;tiram), *Pecten* (scallops; kerang) dan *Anodonta* (kerang air tawar). *Dioecious* terjadi pemisahan antara jantan dan betina dan jenis kelamin terpisah secara sempurna, dua gonad mencakup *intestinal loops*, yaitu bagian yang berhubungan dengan usus dan keduanya dalam kondisi yang sulit untuk dideteksi (Wahyuningtyas,2010). Galtsoff (1964) dalam Octavina (2014) menyatakan, berdasarkan kebiasaan seksual tiram dibagi dalam 2 kategori yaitu spesies non-inkubasi (ovipar; *Crassostrea* spp) yaitu spesies yang melepaskan telurnya ke dalam air sehingga pembuahan terjadi di luar organisme dan spesies inkubasi (larviparous; *Ostrea* spp.) yaitu pembuahan terjadi di rongga insang dan larva diinkubasi dan dilepaskan setelah mencapai stadia perkembangan selanjutnya. Larva yang merupakan kehidupan awal dari bivalvia, mula-mula berenang bebas di perairan, kemudian dilanjutkan dengan kehidupan dalam bentuk dewasa. Bivalvia dewasa dapat tetap bergerak aktif atau menetap pada suatu substrat dan dapat pula menetap pada waktu muda dan kemudian bergerak pada saat dewasa (Panggabean, 1991). Tahap perkembangan kerang yakni dimulai dari fertilisasi sperma dan sel telur kemudian berkembang menjadi *embriogenesis* (planktonik) pembelahan sel kemudian menjadi trocophore (pembentukan granula) lalu menjadi D-veliger (cangkang terbentuk), kemudian

umbo-veliger (pembentukan cangkang kedua setelah adanya tonjolan di bagian dorsal yang disebut umbo), kemudian tampak bintik hitam pada dua sisi cangkang (*eye spot*) kemudian mulai terbentuk kaki yang menonjol pada bagian dorsal digunakan untuk menempel pada tahap inilah bivalvia mengalami metamorphosis. Bivalvia terus berekembang dan tumbuh menempel hal ini pada fase post larva, dan kemudian menjadi juvenil (*spot*), selanjutnya ketika morfologi sudah lengkap maka disebut spat yang biasanya berusia 33 - 40 hari Hamzah (2013). Tiram termasuk kedalam Kelas Bivalvia atau disebut juga Pelecypoda atau Lamellibranchia. Secara lateral Bivalvia memiliki kerangka dengan 2 keping cangkang (*valve*) namun pada tiram, memiliki cangkang dengan ukuran yang berbeda, menempel pada substrat dengan menggunakan cangkang sebelah kiri dan cangkang sebelah kanan cukup datar. Sendi dorsal yang berfungsi untuk menutupi tubuhnya dengan sempurna. Sendi pada cangkang disebut *hinge ligament* yang dapat menunjukkan garis pertumbuhan. Kedua keping cangkang ditautkan oleh otot aduktor (anterior dan posterior). Cangkang dapat tertutup disebabkan oleh kontraksi otot aduktor dan terbuka oleh elastisitas dari *hinge ligament*. Pada bagian dorsal cangkang juga terdapat tonjolan yang disebut umbo dan merupakan bagian tertua dari cangkang (FAO,1998). Morfologi bivalvia dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2.

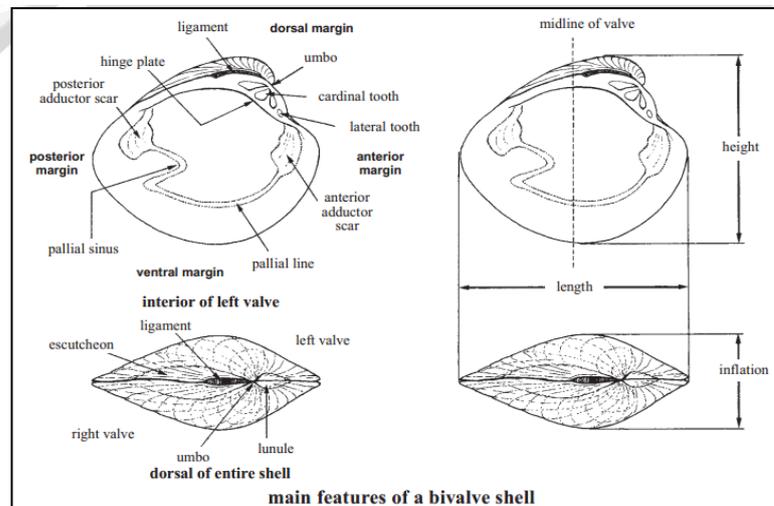


**Gambar 1.** Morfologi *Crassostrea iredalei*; kiri: *Crassostrea iredalei* (Zipcodezoo.2014); kanan *Crassostrea iredalei* (kamera asus zenfone 5)

Zipcodezoo (2014), mengklasifikasikan *Crassostrea* sp. adalah sebagai

berikut:

- Kingdom : Animalia
- Filum : Moluska
- Kelas : Bivalvia
- Order : Anisomyaria
- Famili : Ostreidae
- Genus : *Crassostrea*
- Spesies : *Crassostrea iredalei*

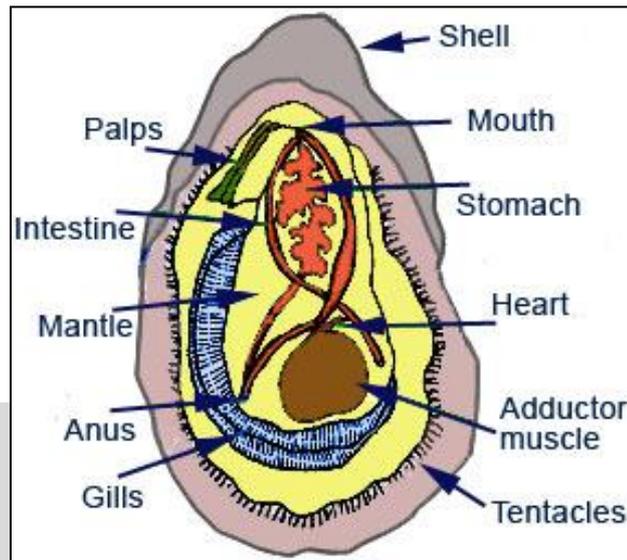


**Gambar 2.** Morofologi Bivalvia (FAO, 1998)

Karakteristik anatomi tiram dimulai dari mulut yang tidak dapat berhubungan langsung dengan lingkungan luar. Oksigen dan makanan yang dibutuhkan disaring melalui insang yang membesar dan mengalami modifikasi menjadi penyaring makanan yang amat penting bagi tiram. Insang yang berbentuk sisir berfungsi sebagai penyaring makanan dan merupakan karakteristik tiram yang tergolong kedalam bivalvia dan bersifat "*filter feeder*". Insang bivalvia yang paling sederhana terdiri lembaran - lembaran pada sisi-sisinya. Lembaran - lembaran insang dilengkapi pula dengan deretan silia. Gerakan silia menimbulkan aliran air yang kuat dan membawa partikel - partikel makanan dan sedimen yang terbawa arus air. Sebagian silia memindahkan campuran partikel - partikel makanan dan sedimen, sementara silia yang lain

repository.ub.ac.id

mengumpulkan dan mendorong sedimen - sedimen untuk dikeluarkan. Insang bivalvia terletak pada rongga pernapasan di dalam mantel. Pada bivalvia yang menempel pada permukaan seperti tiram (*oyster*), ujung lubang masuk pernapasan tidak menyempit, tetapi melebar (Panggabean, 1991). Anatomi bivalvia dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Anatomi Bivalvia (Google image, 2015)

### 2.3 Ekonomi Tiram

Produksi perikanan laut di Indonesia (termasuk kekerangan) masih didominasi oleh hasil tangkapan alam, baik sebagai komoditas pasar lokal maupun ekspor. Berbagai macam jenis kekerangan salah satunya adalah tiram atau *oyster* (*Crassostrea* sp.). Kekerangan merupakan jenis makanan laut yang banyak digemari oleh konsumen karena kelezatan rasanya dan kandungan gizi yang tinggi, bahkan beberapa jenis kerang dan siput laut dipercaya dapat meningkatkan stamina, seperti daging kima dan abalone. Analisa proksimat diketahui bahwa 50% daging kerang merupakan protein, 5% lemak, 5% abu, dan sisanya adalah air. Terdapat lebih dari 100.000 jenis kekerangan, tersebar dari daerah dingin, subtropis dan tropis. Peningkatan jumlah penduduk dunia dan perubahan pola makan dari mengkonsumsi daging hewan darat berganti ke

menu ikan termasuk kekerangan, mendorong manusia untuk berusaha meningkatkan produksi perikanan, baik perikanan tangkap maupun perikanan budidaya. Kebutuhan konsumen akan produk perikanan termasuk kekerangan terus meningkat, baik kebutuhan di pasar lokal maupun di pasar internasional. Peningkatan permintaan pasar berarti peluang bagi pengusaha di bidang perikanan untuk mengembangkan usahanya, namun untuk menjaga kualitas dan keamanan konsumen, perlu dipahami karakteristik kekerangan sebelum dilakukan peningkatan usaha penangkapan maupun budidaya (Setyono, 2006).

#### 2.4 *Crassostrea iredalei*

*Crassostrea* sp. diketahui sebagai organisme benthik yang biasanya digunakan sebagai indikator biologis terhadap adanya polusi logam berat (Taufiq dan Hartati, 2001). *Crassostrea iredalei* dapat ditemukan melekat hampir di semua substrat keras yang terendam seperti batu, partikel pasir kasar, akar mangrove, pilar beton jembatan atau pada benda lain. Substrat yang kurang cocok bagi *Crassostrea iredalei* akan memilih untuk menempel pada potongan kaca, drum plastik, atau rumput laut serta moluska lain. Daerah tropis yang paling umum dan secara tradisional dengan menggunakan *cultch material* sebuah bangunan untuk mengumpulkan tiram (*Crassostrea iredalei*, *Crassostrea belcheri*, *Sacrostrea spp.*) (Devakie dan Ali, 2002). Salah satu penelitian tentang tiram, *Crassostrea iredalei* dapat digunakan sebagai obat anti hepatitis, selain itu tiram jenis ini juga memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi karena mengandung protein, karbohidrat, vitamin dan mineral-mineral sehingga dapat digunakan sebagai bahan makanan, kosmetika dan obat-obatan (Syaharuddin, 2013).

## 2.5 Makanan dan Kebiasaan Makan

Setiap jenis kerang - kerangan (bivalvia) hidup dengan memangsa partikel - partikel organik yang terapung dalam air (*suspension feeder*). Partikel makanan ini dapat berupa mikroorganisme (plankton) ataupun sisa-sisa organik (detritus). Melalui mekanisme yang rumit, benda-benda mikroskopis yang jadi makanannya itu dijaring dari dalam air dan dipilah - pilah menurut seleranya. Partikel - partikel yang memenuhi persyaratan sebagai bahan makanan disalurkan ke arah mulutnya, sedangkan yang tidak memenuhi persyaratan dikirimkan ke satu titik di pinggiran cangkang (*shell*) untuk kemudian dikeluarkan, semua proses tersebut dapat berlangsung berkat kegiatan rambut - rambut halus mikroskopis yang dikenal sebagai silia (Soemodiharjo, 1986). Cappenberg (2008) menyatakan, yang bukan makanannya akan dikeluarkan oleh bivalvia dalam bentuk *pseudofeces* yang terbungkus dengan lendir. Makanan yang dimakan oleh bivalvia yang terkontaminasi oleh logam berat nantinya akan terakumulasi kedalam tubuh bivalvia salah satunya yakni pada organ ginjal dan dapat mempengaruhi sistem metabolisme serta fisiologi tiram.

## 2.6 Penyerapan Logam Berat ke Dalam Tubuh Tiram

Hendri (2012) menyatakan, proses rantai makanan juga menyebabkan terjadinya transfer polutan. Keberadaan atau lama waktu suatu polutan dalam rantai makanan sangat tergantung dari waktu paruh dan "bioavalibilitas" senyawa polutan tersebut dapat mengalami proses distribusi, metabolisme, dan penyimpanan dalam tubuh organisme. Setelah melalui proses *uptake*, polutan akan mengalami proses distribusi dalam tubuh organisme dan dapat mencapai:

### 1. *Site of action*

Bentuk toksis polutan akan berinteraksi dengan makromolekul, misalnya protein atau DNA, yang menyebabkan efek toksik pada organisme.

## 2. *Site of metabolism*

Polutan dapat mengalami proses metabolisme secara enzimatik, yang merupakan proses detoksifikasi atau bioaktivasi.

## 3. *Site of Storage*

Polutan dapat terakumulasi atau tersimpan dalam organ, tetapi tidak berinteraksi dengan makromolekul atau mengalami metabolisme.

Logam berat masuk ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup melalui beberapa jalan, yaitu: saluran pernafasan, pencernaan dan penetrasi melalui kulit. Logam akan diabsorpsi di dalam tubuh hewan oleh darah, lalu berikatan dengan protein dalam darah yang kemudian didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh. Akumulasi logam berat dalam tubuh organisme tergantung pada konsentrasi logam berat dalam air atau lingkungan, suhu, keadaan spesies dan aktifitas fisiologis. Bahan pencemar (racun) yang masuk ke tubuh tiram melalui proses absorpsi. Absorpsi merupakan proses perpindahan racun dari lingkungan ke dalam sirkulasi darah. Absorpsi, distribusi dan ekskresi bahan pencemar tidak dapat terjadi tanpa transpor melintasi membran. Proses transportasi dapat berlangsung dengan 2 cara : transpor pasif (yaitu melalui proses difusi) dan transpor aktif (yaitu dengan sistem transpor khusus, dalam hal ini zat terikat pada molekul pengemban). Logam berat yang diabsorpsi melalui saluran pencernaan didistribusikan ke dalam jaringan lain melalui darah. Logam ini dapat terdeteksi ke dalam tiga kompartemen utama. Pertama di dalam darah logam berat terikat dalam sel darah, kedua di dalam jaringan lunak dan ketiga, yaitu pada tulang dan jaringan keras lainnya (Wulandari,2012).

## 2.7 Hemosit Tiram

Invertebrata memiliki reaksi kekebalan tubuh bawaan yang sangat efektif yang mampu melindungi dirinya terhadap benda asing. Sistem bawaan terdiri

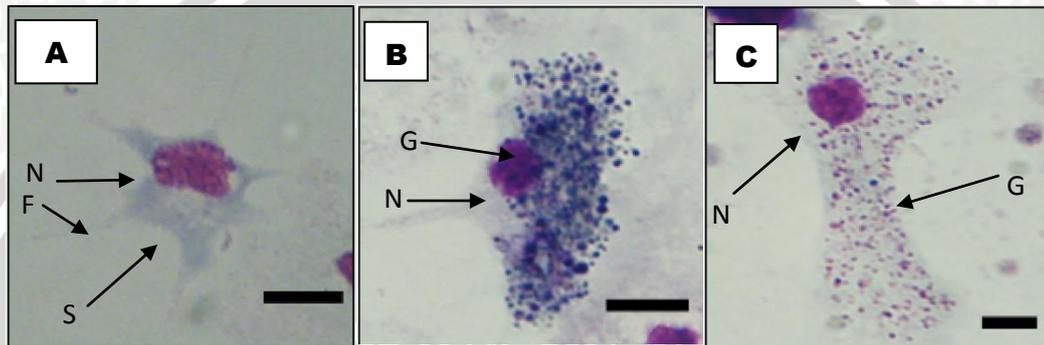
dari dua komponen, yaitu seluler dan humoral, dan tidak menunjukkan kapasitas yang jelas untuk membedakan antara antigen (Aladeileh, 2007). Imunitas bawaan juga disebut nonspesifik atau tidak adaptif. Nonspesifik berarti bahwa reaksi kekebalan bawaan tidak dapat membedakan antara agen infeksi dengan reaksi spesifik untuk kekebalan antigen, sedangkan nonadaptif berarti bahwa sistem kekebalan tubuh bawaan pada memori kekebalan tubuh dan respon sekunder tidak berkembang, sehingga, tidak dapat beradaptasi dengan mengembangkan lebih cepat, kuat, dan respon yang lebih baik secara kualitatif untuk pertemuan berikutnya dengan penyerang yang sama dengan sistem kekebalan tubuh tidak adaptif tersebut (Pinchuk, 2004 dalam Prasetyo, 2009).

Bivalvia termasuk invertebrata yang memiliki memori rendah dalam imunologi yang tidak disertai limfosit B dan T tidak seperti mamalia (Ittoop *et al.*, 2007). Bivalvia memiliki sistem sirkulasi terbuka dengan hemolim yang memiliki peran sangat penting terhadap fisiologi termasuk pertukaran gas, osmoregulasi, distribusi nutrisi, dan pembuangan sisa metabolisme. Hemolim mengandung sel-sel yang disebut hemosit (Gosling, 2004 dalam Prasetyo, 2009). Hemosit mengandung enzim hidrolitik dan menghasilkan oksigen reaktif spesies (ROS), yang memainkan peran penting dalam degradasi patogen. Hemosit telah digunakan sebagai indikator kekebalan pada banyak spesies kerang (Gagnaire, 2006). Sistem imun terhadap kerang telah dilaporkan bahwa adanya pengaruh salinitas yang berubah-ubah dapat menyebabkan stress pada bivalvia dan dapat menyebabkan beberapa masalah terhadap sistem imun bivalvia (Prasetyo, 2009). Aladeileh *et al.*, (2007) menyatakan, jumlah hemosit terdiferensial (*Differential Haemocyte Count* atau DHC) pada hemosit tiram *S. glomerata* terdapat 2 tipe, yaitu sel hyaline dan sel granular. Perbedaan kedua tipe sel tersebut terangkum pada tabel 1 dan berdasarkan morfologinya yang diamati dengan mikroskop cahaya tercantum pada gambar 4.

**Tabel 1.** Perbedaan jenis hemosit tiram *S.glomerata* (Aladaileh *et al.*,2007)

No	Parameter	Sel Hyaline	Sel Granula
1	Bentuk	Tidak beraturan, amoeboid dengan filopodia*)	Tidak beraturan, amoeboid dengan filopodia panjang
2	Inti	Ditepi, oval, besar	Ditepi, oval
3	Granula	0 atau sedikit	Jumlahnya banyak
4	Ukuran sel	7,1 ± 1,0 µm	9,3 ± 0,3 µm

Keterangan \*): filopodia: kaki berbentuk filamen (Gambar 4.)



**Gambar 4.** Tipe hemosit pada *S. glomerata* yang diamati dengan mikroskop cahaya (Aladaileh *et al.*, 2007) dalam Wulandari (2010) A) Sel Hyalin; B) Sel Basophil Granular; C) Sel Eosinophil Granular F: filopodia; N: Nukleus; S: Sitoplasma; G: Granula.

Peredaran darah tiram tidak sama dengan sel darah merah pada vertebrata tetapi analog dengan sel darah putih. Hemosit memiliki fungsi untuk penyembuhan luka, pembentukan dan perbaikan cangkang, pencernaan dan transportasi nutrisi, pertukaran gas, osmoregulasi, ekskresi dan sistem pertahanan tubuh. Logam berat yang dilepas ke laut kemudian akan diserap oleh biota laut dan dapat berakibat pada penurunan respon imunnya. Moluska termasuk tiram berdasarkan morfologi terdapat dua tipe hemosit yaitu sel granular yang disebut granulosit dan sel agranular yang disebut dengan hyalinosit (Wulandari, 2012). Hemosit berfungsi untuk memerangi patogen dan mengeliminasinya dengan cara fagositosis dan enkapsulasi. Pertahanan tiram terhadap patogen termasuk bakteri dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan fisiologis atau adanya parasit yang menyerang tubuh tiram, yang dapat menyerang aktivitas bakterisidal pada

hemosit dan menyebabkan akumulasi bakteri di dalam jaringan kerang (Beatrice *et al.*, 2007). Peristiwa fagositosis terutama dilakukan oleh granulosit pada tiram. Granulosit akan menelan partikel untuk menghilangkan patogen yang hidup dengan mendegradasi enzim atau oksidasi didalam tiram, sebaliknya hyalinosit dianggap berperan penting terhadap perbaikan luka. Kemampuan tiram untuk merespon tekanan lingkungan yang buruk, tergantung pada kemampuan fungsional dan keberadaan hemosit tiram (Hegaret *et al.*, 2003).

## 2.8 Kualitas Air

Hutagalung (1984) dalam Sarjono (2009) menyatakan, faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat toksisitas logam berat antara lain suhu, salinitas, pH. Nybakken (1992) dalam Nurfakih (2013) menyatakan, keberadaan bahan organik dalam ekosistem laut juga sangat penting, karena dapat dijadikan sebagai pengontrol kelimpahan, metabolisme dan distribusi dari organisme laut dan pantai karena peranan bahan organik yang bermanfaat sebagai sumber makanan, sumber vitamin, sumber bahan keperluan bakteri, tumbuhan maupun hewan, dan sebagai zat yang dapat mempercepat dan menghambat pertumbuhan. Nehring (2006) dalam Octavina *et al.*,(2014) menyatakan bahwa *Crassostrea* sp. mampu hidup dalam kisaran suhu 5 - 35 °C dengan kisaran optimum 11 - 34 °C dan masih bertahan pada suhu -5° C, namun Faisal (2001) dalam Siregar *et al.*,(2014) menambahkan bahwa kebanyakan organisme laut termasuk bivalvia dan gastropoda telah mengalami adaptasi untuk hidup dan berkembangbiak pada kisaran suhu sampai 40 °C. Diederich (2006), menyatakan bahwa sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai pH sekitar 7 - 8.0 dan daging tiram mampu hidup dalam perairan dengan pH antara 6,8 - 9.25. Namun apabila kurang atau lebih dari kisaran pH tersebut makan daging tiram akan mati atau menjadi abnormal. Mann *et al.*

(2009) menyatakan, daging tiram dapat mentoleransi kisaran salinitas 10 - 30 ‰ (optimum 20 - 30 ‰). Barus (2000) melaporkan, oksigen terlarut merupakan faktor yang penting dalam ekosistem air, terutama dibutuhkan untuk proses respirasi. Rahman (2011) menyatakan, oksigen terlarut dibutuhkan oleh semua organisme untuk pernafasan serta oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sparks *et al.*(1958) dalam Octavina *et al.* (2014) menyatakan, bahwa daging tiram masih mampu bertahan hidup selama 5 hari dalam perairan yang mengandung >1 mg/l oksigen terlarut.

Tiram sebagai *filter feeder* sangat bergantung pada bahan organik sebagai makanannya. Bahan organik terlarut maupun dalam sedimen mempengaruhi pertumbuhan, kehadiran dan kepadatan organisme (Leviton, 1982). Bahan organik merupakan bahan makanan bagi biota air, khususnya moluska yang terbawa dari atau berasal dari substrat dalam perairan. Luruhan daun mangrove merupakan bahan organik penting dalam rantai makanan di dalam lingkungan perairan (Nontji, 2002). Pasang surut air laut juga mempengaruhi organisme jenis tiram yang habitatnya pada zona intertidal, Nybakken 1988 dalam Dewi (1999) menyatakan, bahwa organisme pada surut terendah akan mengalami kekeringan (kehilangan air), semakin lama hal tersebut terjadi maka semakin kecil kesempatan untuk mencari makan dan mengakibatkan kekurangan energi dan sebaliknya.

### 3.METODE PENELITIAN

### 3.1 Materi Penelitian

Materi dalam penelitian ini adalah kandungan logam berat Pb, Hg, Cd air laut dan akumulasi oleh tiram serta struktur gambaran Hemosit *Differential Haemocyte Count* (DHC) pada tiram *Crassostrea iredalei* yang tercemar logam berat dari lokasi yang berbeda yaitu perairan Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah, Kabupaten Gresik, Jawa Timur serta parameter kualitas air yang digunakan sebagai data pendukung antara lain suhu, pH, oksigen terlarut (DO), salinitas, kandungan bahan organik (*Total Organic Matter*) dan Pasang Surut.

### 3.2 Alat dan Bahan

#### ➤ Penelitian Pendahuluan

Pengumpulan sampel tiram dan air laut di perairan Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah, Gresik.

Alat dan Bahan : Palu, keranjang, botol DO, tiram *Crassostrea iredalei*, refraktometer, botol plastik 1500 ml, pH paper dan kotak standart, thermometer Hg.

#### ➤ Pengambilan Sampel

Menentukan kandungan logam berat Pb, Hg, Cd pada sampel air dan sampel tiram *Crassostrea iredalei*.

Alat dan Bahan : sampel air laut, sampel kering tiram (*Crassostrea iredalei*), HNO<sub>3</sub> pekat, aquades, AAS, lampu katoda Pb, Hg, Cd, aquaregia

#### ➤ Analisis Struktur Hemosit

Menentukan Struktur hemosit tiram (*Differential Haemocyte Count* atau

DHC)

Bahan : Hemosit tiram (*Crassostrea iredalei*)

Bahan Kimia :

- Giemsa Na-Sitrat (antikoagulan)
- Aquades
- Etanol

Alat-alat :

- Sduit (1 ml) Beaker glass
- Objek glass Pipet tetes
- Mikroskop cahaya Cover glass
- Eppendorf Washing bottle

### 3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian dilaksanakan dengan menggunakan metode survei dan kemudian dijelaskan secara deskriptif. Metode survei dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya tiram di perairan Pantai Dalegan dan Ujungpangkah Gresik. Latara *et al.*(2013) menyatakan, metode survei yaitu berupa pengamatan langsung ke lapangan untuk mendapatkan data primer. Berdasarkan Singarimbun (1989) dalam Wulandari (2010), penelitian survei adalah penelitian yang mengambil sampel dari satu populasi sebagai alat pengumpulan data yang pokok. Kusumah (2012) menyatakan, metode deskriptif merupakan metode penelitian yang digunakan untuk menggambarkan masalah yang terjadi pada masa sekarang atau yang sedang berlangsung, bertujuan untuk mendeskripsikan apa - apa yang terjadi sebagaimana mestinya pada saat penelitian dilakukan.

Data adalah keterangan yang benar dan nyata yang dapat dijadikan dasar kajian (analisis atau kesimpulan). Dalam penelitian skripsi ini, data yang dikumpulkan meliputi:

**a. Data Primer**

Data primer adalah data atau informasi yang diperoleh dari sumber pertama. Data primer dapat berupa data - data yang bersifat kuantitatif maupun kualitatif (Mulyanto, 2008). Data primer dalam penelitian ini meliputi pengukuran kandungan logam berat Pb, Hg, Cd di perairan dan daging tiram, parameter kualitas air seperti suhu, pH, salinitas, oksigen terlarut (DO), salinitas, kandungan bahan organik (*Total Organic Matter*), dan *Differential Haemocyte Count* pada tiram *Crassostrea iredalei* yang mengandung logam berat Pb, Hg, dan Cd. Data primer dalam penelitian ini diperoleh dari hasil observasi, partisipasi aktif dan wawancara dengan pihak terkait.

**b. Data Sekunder**

Data sekunder yang diperoleh dari pihak lain (telah diolah) dan disajikan baik oleh pengumpul maupun pihak lain. Data sekunder ini diperlukan untuk mendukung data primer Mulyanto (2008). Data sekunder dalam penelitian ini didapatkan dari laporan penelitian, jurnal, buku, situs internet serta kepustakaan yang dapat menunjang dari penelitian ini.

### **3.3.1 Pelaksanaan Penelitian**

#### **3.3.1.1 Penelitian Pendahuluan**

Penelitian tahap pendahuluan dilaksanakan dengan melakukan survei lokasi terlebih dahulu di Perairan Dalegan dan Ujungpangkah, Kabupaten Gresik, Jawa Timur untuk mendapatkan tiram dan pengambilan sampel air yang tercemar logam berat Pb, Hg, Cd. Pada Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah, masing-masing ditentukan 3 titik yang berbeda. Titik-titik tersebut

didasarkan pada aktivitas manusia dan sumber pencemaran yang berbeda. Pantai Dalegan lebih cenderung didominasi oleh sampah. Sebagian besar, masyarakat sekitar Pantai Dalegan membuang sampah ke perairan pantai. Selain itu Pantai Dalegan juga digunakan sebagai *Docking* perahu nelayan. Pantai Dalegan, pada titik I dipengaruhi oleh tumpukan sampah-sampah yang sebagian besar berupa gundukan sampah plastik, titik II sebagai tempat bersandarnya perahu motor dan *docking* kapal nelayan, titik III adalah belakang pasar tradisional juga TPI (Tempat Pelelangan Ikan), sedangkan pada Pantai Ujungpangkah lebih didominasi oleh aktivitas pengepul kerang hijau (*Perna viridis*) dan sandaran kapal. Pantai Ujungpangkah dalam penelitian ini juga dibagi menjadi tiga titik yaitu titik I merupakan batu beton yang berfungsi sebagai *break water*, titik II merupakan lokasi bersandarnya perahu nelayan dan titik III adalah bambu-bambu di sekitar daerah pengepul kerang hijau yang dipengaruhi oleh limbah pengolahan kerang hijau.

**a. Pengambilan Sampel**

Penelitian Tahap I adalah menentukan kandungan logam berat Pb, Hg, dan Cd pada sampel air dan sampel tiram dengan teknik pengambilan data secara *purposive random sampling* pada 2 stasiun masing-masing 3 titik tanpa ulangan dan diakumulasikan menjadi satu. Nasution (2003) menyatakan, *purposive random sampling* adalah pengambilan sampel dilakukan hanya atas dasar pertimbangan penelitiannya saja yang menganggap unsur-unsur yang dikehendaki telah ada dalam anggota sampel yang diambil. Sampel adalah sebagian yang diambil dari keseluruhan obyek yang diteliti dan dianggap mewakili populasi (Notoatmojo, 2005). Sampel air laut diambil dengan menggunakan botol plastik air mineral 1500 ml dan kemudian dimasukkan ke dalam *cool box*. Tiram diambil dengan menggunakan palu dan sebisa mungkin dalam keadaan utuh. Tiram yang digunakan adalah jenis *Crassostrea iredalei*

yang memang banyak dijumpai pada Perairan Dalegan dan Ujungpangkah, Gresik dan diambil oleh masyarakat sekitar untuk dikonsumsi sebagai asupan gizi protein hewani. Selain itu dikarenakan tiram dapat digunakan untuk mengetahui kualitas suatu perairan yang tercemar logam berat. Setiawan *et al.*,(2013) melaporkan, bahwa *bivalvia* terutama kerang telah digunakan oleh ahli ekologi dalam menganalisis pencemaran air, sehingga sering digunakan sebagai indikator pencemaran logam berat dalam lingkungan perairan. Suwignyo *et al.*,(1998), menyatakan bahwa salah satu jenis *bivalvia* adalah *Crassostrea iredalei*. Setelah dikumpulkan, tiram di bersihkan dengan air laut dan dimasukkan kedalam *cool box* yang sudah diberi air laut sebelumnya agar tiram tetap dalam kondisi hidup.

#### **b. Pengukuran Logam Berat Pb, Hg, Cd (Sampel air)**

Pengukuran kadar logam berat Pb, Hg, Cd air sampel dilakukan dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) yang dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya. Pengukuran (sampel dalam bentuk cairan) dilakukan dengan menggunakan metode yang biasa digunakan di laboratorium tersebut adalah sebagai berikut :

- Air sampel diambil dengan pipet volume (50 ml) kemudian dimasukkan kedalam Erlenmeyer (100 ml).
- Aquaregia ditambahkan sebanyak 5 ml kemudian dipanaskan diatas hot plate sampai kering lalu di dinginkan.
- $\text{HNO}_3$  2,5 N ditambahkan sebanyak 5 ml, kemudian dipanaskan diatas *hot plate* hingga mendidih lalu didinginkan.
- Sampel yang sudah di dinginkan disaring sebanyak 10 ml ke dalam labu ukur dan ditambahkan aquades sampai tanda batas kemudian dikocok sampai homogen.
- Sampel diukur menggunakan AAS dengan memakai lampu katoda yang

sesuai dengan logam yang akan diuji dan mencatat absorbansinya untuk panjang gelombang Pb 217 nm dan lebar celah 1,0 nm , Hg 253.7 nm dan lebar celah 0.5 nm dan Cd 228.6 nm dengan lebar celah 0.5 nm. (Misal: jika ingin menentukan kadar logam Pb maka menggunakan lampu Pb, begitu juga dengan logam lainnya menggunakan lampu yang sesuai) hingga didapatkan hasil.

### c. Pengukuran Logam Berat Pb, Hg, Cd (Sampel Tiram)

Pengukuran kadar logam berat Pb, Hg, Cd sampel daging tiram *Crassostrea iredalei* dilakukan dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) yang dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya dimana pengukuran (sampel dalam bentuk padat) dilakukan dengan menggunakan metode yang biasa digunakan di laboratorium tersebut adalah sebagai berikut :

- Sampel kering ditimbang sebanyak 2 gr kemudian dimasukkan kedalam beaker glass.
- HNO<sub>3</sub> pekat ditambahkan sebanyak 30 ml dan didiamkan 1 malam untuk permulaan dekomposisi.
- Sampel dipanaskan selama 2 jam dan dijaga agar sampel tidak meluap.
- HNO<sub>3</sub> pekat ditambahkan sebanyak 10 ml kedalam beaker glass dan dipanaskan lagi selama 2 jam.
- HNO<sub>3</sub> pekat ditambahkan lagi sebanyak 10 ml dan dipanaskan lagi selama 3 jam atau sampai diperoleh larutan jernih kekuning-kuningan (Pemanasan dianjurkan sampai sisa HNO<sub>3</sub> menguap kemudian didinginkan).
- Larutan dipindahkan kedalam labu ukur 50 ml dan ditambahkan pelarut akuades sampai tanda batas 50 ml.
- Sampel diukur menggunakan AAS dengan memakai lampu katoda yang

sesuai dengan logam yang akan diuji dan mencatat absorbansinya, untuk panjang gelombang Pb 217 nm dan lebar celah 1,0 nm, Hg 253.7 nm dan lebar celah 0.5 nm dan Cd 228.6 nm dengan lebar celah 0.5 nm. (Misal: jika ingin menentukan kadar logam Pb maka menggunakan lampu Pb, begitu juga dengan logam lainnya menggunakan lampu yang sesuai) hingga didapatkan hasil.

### 3.3.1.2 Penelitian Utama

Analisis struktur hemosit dengan metode preparasi hemolim dan *Differential Haemocyte Count* (DHC) dengan metode pewarnaan *giemsa*.

#### a. Pengumpulan Tiram (*C.iredalei*)

Sampel tiram diambil dari Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah, kemudian dilakukan pengambilan hemosit menggunakan spuit berukuran 1 ml yang sebelumnya diberi Na-Sitrat sebagai antikoagulan  $\pm$  1 ml, lalu hemosit diambil  $\pm$  1 ml, kemudian dimasukkan kedalam eppendorf dan disimpan dalam lemari es sebelum dilakukan pengamatan *Differential Haemocyte Count* (DHC) tiram. Ukuran tiram yang digunakan yaitu 6 - 7 cm karena pada ukuran tersebut dianggap kerang telah mencapai ukuran dewasa yang mana sudah memiliki sistem imun yang lengkap. Saroeng *et al.*, (2010) menyatakan bahwa kerang memiliki tingkat kematangan gonad awal masih *juvenile* memiliki ukuran cangkang <20mm, TKG1 berukuran cangkang 21-32 mm, TKG2 berukuran cangkang 33-42 mm, TKG3 berukuran cangkang 42-50mm, dan TKG4 (kerang dewasa) yang siap memijah berukuran cangkang >50mm. Dang *et al.*,(2012) menambahkan, penelitian baru-baru ini telah menunjukkan adanya variasi dari indeks fagositosis yang terjadi sesuai dengan tingkat kematangan gonad pada *Crassostrea gigas*, dan diketahui bahwa indeks minimum fagositosis terjadi pada saat periode pemijahan. Palar, (2012) menyatakan, pada fase - fase tertentu, dalam kehidupan suatu biota mungkin merupakan fase yang sangat sensitif.

Sebagai contoh adalah, fase telur dan fase bayi. Namun, demikian ada pula fase di mana biota memiliki daya tahan yang kuat dan biasanya pada fase dewasa.

**b. Differential Haemocyte Count (DHC)**

Aladeileh (2007) menerangkan, hemosit tiram diambil kira-kira 25  $\mu\text{L}$ , kemudian diwarnai terlebih dahulu dengan metode giemsa. Langkah-langkah pewarnaan giemsa adalah dengan:

- Meletakkan preparat yang akan dipulas diatas objek glass.
- Meneteskan etanol keatas sediaan tersebut, sampai lapisan hemosit tertutup seluruhnya. Kemudian sediaan dibiarkan selama lebih kurang 2 menit.
- Setelah itu, meneteskan larutan giemsa yang sudah diencerkan dengan larutan penyangga dengan perbandingan 1 ml giemsa; 9 ml larutan penyangga (aquades) diatas sediaan hemosit sampai merata. Kemudian dibiarkan selama 30 menit.
- Setelah selesai melakukan hal tersebut, langkah berikutnya adalah membilas preparat hemosit tersebut dengan air mengalir lalu preparat diletakkan dalam posisi vertikal dan dibiarkan kering terkena udara.
- Setelah pewarnaan hemosit selesai, dilanjutkan dengan pengamatan jumlah sel dalam persentase berdasarkan kriteria morfologi seperti tertera pada Gambar 4 dan Tabel 1 dengan menggunakan mikroskop cahaya perbesaran 100X.

**c. Perhitungan DHC Tiram (%)**

Prosedur perhitungan DHC (*Differensial Hemocyte Count*) berdasarkan petunjuk analisa DHC dari Laboratorium Penyakit dan kesehatan Ikan FPIK UB (2011) dalam Hendri (2012), yaitu:

$$= \frac{\text{jumlah sel granulosit atau hyaline}}{\text{jumlah total hemosit}} * 100\%$$

### 3.3.1.3 Pengukuran Kualitas Air

#### a. Parameter Fisika

##### ➤ Suhu

Bloom (1988) dalam Purmawati (2011), menjelaskan pengukuran suhu yaitu: Thermometer Hg dicelupkan langsung ke dalam perairan, dibiarkan beberapa saat (2 - 3 menit) secepatnya dibaca nilai suhu pada skala thermometer Hg dengan thermometer tetap di dalam air. Usahakan membelakangi matahari dan tidak menyentuh thermometer Hg secara langsung karena dapat mempengaruhi skala suhu pada thermometer Hg.

##### ➤ Pasang Surut

Data pasang surut tertinggi dan terendah perairan Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah Gresik diperoleh melalui data sekunder. Syarifudin (2011) menerangkan, data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung yaitu dari instansi pemerintah, laporan dan pustaka lainnya. Data tersebut meliputi keadaan lokasi penelitian, identifikasi jenis biota. Pasang surut terendah PPN Brondong Gresik dan sesuai dengan laporan Pusat Penelitian Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pesisir (P3SDLP), Balitbang KP, KKP bulan Januari tahun 2015. Pasang surut terendah perairan Gresik berdasarkan P3SDLP PPN Brondong diperoleh pada tanggal 5 Januari 2015 pukul 08.00 WIB (Lampiran 1).

#### b. Parameter Kimia

##### ➤ pH (Derajat Keasaman)

Rovita *et al.*, (2012) menjelaskan pengukuran derajat keasaman dengan menggunakan pH paper yaitu:

- pH paper dicelupkan pada sampel air.
- pH paper kemudian dicocokkan skala warna pH dengan kotak standart.

➤ **Salinitas**

Hariyadi *et al.*,(1992) menyatakan, prosedur analisis salinitas dengan menggunakan refraktometer pada perairan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Membuka penutup kaca prisma.
- Mengkalibrasi dengan aquadest.
- Membersihkan dengan tisu secara searah.
- Meneteskan 1 - 2 tetes air yang akan diukur salinitasnya.
- Menutup kembali dengan hati-hati agar tidak terjadi gelembung udara di permukaan kaca prisma.
- Mengarahkan ke sumber cahaya.
- Melihat nilai salinitasnya dari air yang melalui kaca pengintai.

➤ **Oksigen Terlarut (DO)**

Suprpto (2011) menyatakan, prosedur analisis oksigen terlarut (DO) dengan menggunakan metode titrasi dengan cara WINKLER adalah sebagai berikut:

- Mengukur dan mencatat volume botol DO yang akan digunakan  $\pm$  150 ml
- Masukkan 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 di dalam air dan dipastikan tidak ada gelembung udara.
- Menambahkan  $MnSO_4$  1 ml dan  $NaOH + KI$  1 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 mengocok sampai dengan larut.
- Menambahkan 3 – 4 tetes amylum dan dihomogenkan, kemudian dititrasi dengan Na-thiosulfat 0.025 N sampai jernih pertama kali dan mencatat volume titran.
- Mengukur kadar oksigen yang terlarut dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

v = ml larutan Natrium Thiosulfat untuk titrasi

N = Normalitas larutan Natrium Thiosulfat

V = Volume botol DO

#### ➤ **Kandungan Bahan Organik (TOM)**

SNI (2003), dalam SOP BBPBAP Jepara (2011) menjelaskan, pengukuran bahan organik dilakukan dengan menggunakan rumus dan prosedur kerja sebagai berikut:

- Memasukkan 50 ml air sampel ke dalam labu erlenmeyer 500 ml, bila diduga bahan organik terlalu tinggi lakukan pengenceran dengan mengambil 10 ml sampel air dan menambahkan 40 ml aquadest
- Menambahkan 5 ml  $H_2SO_4$
- Menambahkan 9,5 ml 0,01 N larutan  $KMnO_4$  dari buret
- Memanaskan larutan di atas hotplate hingga suhu 75 °C
- Menunggu larutan dingin sampai dengan suhu 60 °C, kemudian memasukkan Na-oxalate 1 ml hingga tidak berwarna pertama kali.
- Mentitrasi dengan  $KMnO_4$  hingga berwarna merah muda pertama kali.
- Lalu catat volume titrasi dan memasukkan rumus:  

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

Keterangan:

X = Volume titrasi sampe

Y = Volume titrasi blanko (0.6)

### 3.4 Analisa Data

Data yang didapatkan dari beberapa tahap penelitian dianalisa secara deskriptif untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat Pb, Hg, Cd di Perairan Dalegan dan Perairan Ujungpangkah dan tiram *Crassostrea iredalei*, serta analisa *Differential Haemocyte Count* (DHC) tiram *Crassostrea iredalei*, yang kemudian disajikan dalam bentuk tabel, gambar, dan grafik. Untuk mengetahui hubungan logam berat Pb, Hg, Cd di perairan dan di dalam tiram *Crassostrea iredalei* juga hubungan logam berat Pb, Hg, Cd di perairan dengan *Differential Haemocyte Count* (DHC) tiram, digunakan analisis regresi sederhana. Regresi sederhana yaitu metode analisa yang mampu menjelaskan hubungan data yang dipengaruhi variabel bebas dan variabel terikat. Nilai Y adalah variabel terikat dan nilai X adalah variabel bebas. Adapun nilai Y dalam penelitian ini adalah daging tiram *Crassostrea iredalei* yang mengakumulasi logam berat Pb, Hg, Cd dengan nilai X adalah logam berat Pb, Hg, dan Cd di perairan, dan nilai Y adalah DHC tiram *Crassostrea iredalei* dengan nilai X adalah logam berat Pb, Hg, dan Cd di perairan. Purba et al.,(2014) menyatakan, uji regresi bertujuan untuk mengetahui hubungan pengaruh antara satu variable terhadap variable lain. Variable yang dipengaruhi disebut variabel tergantung atau dependen sedangkan variabel yang mempengaruhi disebut variabel bebas atau variabel independen. Rumus analisis regresi linier sebagai berikut :  $Y = a \pm bx$ .

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian

Kabupaten Gresik terletak pada  $7^{\circ}$  -  $8^{\circ}$  LS dan  $112^{\circ}$  -  $113^{\circ}$  BT, dengan batas wilayah, sebelah Barat berbatasan dengan Kabupaten Lamongan, sebelah Timur berbatasan dengan Selat Madura, sebelah Utara berbatasan dengan Laut Jawa dan sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Sidoarjo, Kabupaten Mojokerto dan Kota Surabaya. Kabupaten Gresik yang beribukota di Gresik memiliki luas  $1.251 \text{ km}^2$  yang terbagi dalam 356 kelurahan atau desa dan 18 kecamatan. Komoditi unggulan Kabupaten Gresik yaitu sektor perkebunan, pertanian, perikanan, peternakan dan jasa (Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, 2014). Pemerintah Kabupaten Gresik (2014) menyatakan, sebagian wilayah Kabupaten Gresik merupakan daerah pesisir pantai, yaitu memanjang mulai dari kecamatan Kebomas, Gresik, Manyar, Bungah, Sidayu, Ujungpangkah dan Panceng serta Kecamatan Sangkapura dan Tambak yang terletak di Pulau Bawean. Wilayah kabupaten Gresik merupakan dataran rendah dengan ketinggian 2 sampai 12 meter di atas permukaan air laut kecuali Kecamatan Panceng yang mempunyai ketinggian 25 meter di atas permukaan air laut. Peta kota Gresik dapat dilihat pada Lampiran 2.

#### 4.1.1 Stasiun Pengamatan 1

Stasiun 1 adalah pada perairan Pantai Dalegan (disajikan pada Gambar 5), dan berdasarkan Google earth (2015), terletak pada koordinat  $6^{\circ}54'11.17''$  Lintang Selatan dan  $112^{\circ}29'29.67''$  Lintang Utara, peta stasiun 1 dapat dilihat pada Lampiran 3. Stasiun 1 dibagi menjadi 3 titik, titik pertama yaitu terletak pada batu - batu besar di sekitar gundukan sampah. Sampah plastik, kertas, triplek, kayu dan lain sebagainya dapat ditemukan digundukan sampah tersebut.

Sampah - sampah tersebut berasal dari limbah rumah tangga yang masyarakatnya berdomisili di daerah sekitar pantai dan secara langsung membuang limbah ke perairan pantai. Dekat dengan gundukan sampah tersebut terdapat batu beton yang memanjang vertikal ke arah pantai yang berguna sebagai penyangga jalan, dan di sepanjang batu beton tersebut banyak ditemukan tiram jenis *Crassostrea iredalei*.



**Gambar 5.** Stasiun Pengamatan 1 (dari kiri: titik 1, titik 2, titik 3)

Titik kedua terletak tidak jauh dari titik pertama, yakni pada tempat sandaran kapal - kapal nelayan. Ditemui beberapa nelayan memperbaiki kapal pada lokasi tersebut, seperti mengganti kayu, mengecat ulang, dan mengganti bahan bakar solar. Titik ketiga merupakan batu - batu besar yang terletak di belakang TPI (Tempat Pelelangan Ikan), dan didominasi oleh sampah yang berasal dari TPI. Pelelangan ikan tersebut aktif sehari dua kali, yakni pada pagi hari dan siang hari.

#### 4.1.2 Stasiun Pengamatan 2

Stasiun pengamatan 2 terletak di perairan Pantai Ujungpangkah (Gambar 6), berdasarkan Google earth (2015), terletak pada  $6^{\circ}53'01.45''$  Lintang Selatan dan  $112^{\circ}27'29.82''$  Bujur Timur, peta stasiun 2 dapat dilihat pada Lampiran 4. Stasiun 2 dibagi menjadi 3 titik berdasarkan aktivitas manusia yang mempengaruhinya. Titik pertama diperoleh tiram (*Crassostrea iredalei*) menempel pada batu beton yang berfungsi sebagai pemecah ombak atau *berak*

water. Ditemui beberapa nelayan yang mencari ikan dengan menggunakan alat tradisional berupa ayakan di daerah *break water* tersebut pada saat surut terendah. Titik ketiga merupakan tempat sandaran kapal nelayan dan disebelahnya terdapat bambu – bambu sebagai titik kedua yang sengaja ditancapkan oleh nelayan sebagai habitat kerang hijau (*Perna viridis*) untuk menempelkan *byssus* dan secara tidak langsung juga ditemukan *Crassostrea iredalei* banyak menempel pada bambu tersebut.



**Gambar 6.** Stasiun Pengamatan 2 (dari kiri: titik 1, titik 2, dan titik 3)

Kerang hijau dipanen dan diolah oleh masyarakat sekitar untuk diambil dagingnya sedangkan cangkang kerang hijau tersebut dibuang didekat tempat sandaran kapal di titik kedua hingga mencapai gundukan. Pengolahan kerang hijau oleh masyarakat sekitar dengan direbus kemudian diambil dagingnya dan dijual. Sedangkan air sisa rebusan kerang tersebut secara langsung dibuang ke dalam perairan laut.

#### 4.2 Analisis Logam Berat

Kandungan logam berat Pb, Hg, Cd diukur pada sampel air laut dan daging tiram *Crassostrea iredalei* yang diambil dari 2 stasiun yang berbeda berdasarkan aktivitas manusia yang mempengaruhi. Kedua stasiun tersebut terletak di perairan utara Gresik yaitu Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah. Analisis kandungan logam berat Pb, Hg, Cd air laut dan daging tiram *Crassostrea iredalei* dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*).

Hasil pengukuran kandungan logam berat Pb, Hg, Cd di perairan dan daging tiram *Crassostrea iredalei* yang diambil dari Perairan Dalegan dan perairan Ujungpangkah di pesisir utara Gresik, Jawa Timur, dan biasa dikonsumsi oleh masyarakat sekitar dapat dilihat pada Tabel 2 dan Lampiran 5.

**Tabel 2.** Rata-rata kandungan logam berat Pb, Hg, Cd air laut dan daging tiram *Crassostrea iredalei*

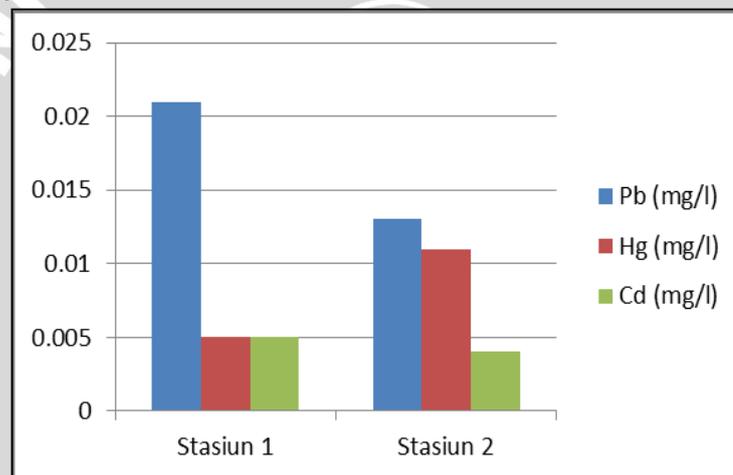
Sampel	Pb (mg/l)		Standar	Hg (mg/l)		Standar	Cd (mg/l)		Standar
	St 1	St 2		St 1	St 2		St 1	St 2	
Air	0.021	0.013	0.008	0.005	0.011	0.001	0.005	0.004	0.001
Tiram	0.112	0.067	1.5	0.083	0.039	1.0	0.077	0.046	1.0

Baku mutu air laut untuk biota laut pada penelitian ini mengacu pada KEPMENLH tahun 2004 sedangkan untuk baku mutu daging tiram mengacu pada keputusan BPOM Nomor HK.00.06.1.52.4011 tahun 2009. Hasil analisis logam berat ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar kandungan logam berat dalam perairan khususnya pada Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah, Gresik yang telah diketahui sebagai habitat tiram *Crassostrea iredalei* dan kemungkinan besar terjadi akumulasi logam berat ke dalam tubuh tiram sehingga nantinya dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh logam berat tersebut terhadap hemosit tiram.

#### 4.2.1 Analisis Logam Berat Pada Air

Kandungan logam berat Pb, Hg, Cd pada perairan menunjukkan perbedaan pada stasiun 1 dan stasiun 2, hasil tersebut tersaji melalui grafik pada Gambar 7. Grafik tersebut menerangkan bahwa pada masing - masing stasiun diketahui, kandungan logam berat Pb memiliki kadar rata-rata lebih tinggi daripada kadar rata - rata Hg dan Cd. Stasiun 1 rata-rata kadar Pb sebesar 0.021 mg/l, Hg sebesar 0.005 mg/l, dan Cd sebesar 0.005 mg/l dan pada stasiun 2

kadar rata-rata Pb sebesar 0.013 mg/l, Hg sebesar 0.011 dan Cd sebesar 0.004 mg/l. KEPMENLH (2004) menyatakan, baku mutu kadar logam berat untuk biota laut, untuk Pb sebesar 0.008 mg/l, Hg sebesar 0.001 mg/l dan Cd sebesar 0.001 mg/l. Hasil analisis tersebut mengindikasikan bahwa kadar logam berat pada perairan Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah, Gresik telah melebihi ambang batas logam berat yang diperuntukkan bagi biota laut. Kadar logam berat Pb di perairan memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan Cd dan Hg baik pada stasiun 1 maupun di stasiun 2. Hal tersebut diduga karena pada kedua stasiun dijumpai sebagai tempat bersandarnya perahu motor nelayan yang dapat menyumbang limbah dari bahan bakar seperti solar.



**Gambar 7.** Grafik Kadar Logam Berat (Pb, Hg, Cd) dalam air

Aktivitas *docking* kapal seperti pengecatan kembali kapal, korosi paku, juga memberikan pengaruh terhadap kadar logam Pb dalam perairan. Limbah yang masuk kedalam perairan sebagian besar berasal dari limbah perahu motor nelayan. Wulandari (2012) menyatakan, bahwa kegiatan laut salah satunya adalah buangan sisa bahan bakar kapal motor, cat kapal, dan wisata bahari. Kapal motor penangkap ikan juga menggunakan cat anti korosi yang pada umumnya mengandung Pb, serta sebelum berangkat kapal harus dihidupkan di pelabuhan  $\pm$  1 jam, dengan demikian limbah asap masuk ke perairan pelabuhan. Knalpot (pembuangan sisa gas hasil proses pembakaran bahan bakar) yang

terletak di bawah kapal atau dekat dengan permukaan air laut, sehingga gas buangnya langsung berinteraksi dengan air laut, juga akan menambah kontaminan. Kadar Pb yang tinggi berbahaya bagi kehidupan biota laut. Handajani (2011) menambahkan, Pb bersifat toksik terhadap biota laut, kadar Pb sebesar 0.1 - 0.2 ppm telah dapat menyebabkan keracunan pada jenis ikan tertentu, diketahui bahwa biota-biota perairan seperti crustacea akan mengalami kematian setelah 245 jam, sedangkan biota perairan lainnya seperti insecta akan mengalami kematian dalam rentang waktu yang lebih panjang yaitu antara 168-336 jam. Sesuai dengan Nasution dan Siska (2011) efek toksik logam berat terhadap organisme laut bisa terjadi secara fisiologi, morfologi, genetik, dan bahkan kematian. Logam berat berpengaruh pada fungsi enzim dan fertilitas spesies hewan laut. Logam Pb misalnya dapat memberikan pengaruh yang kuat terhadap organisme laut walaupun pada konsentrasi yang rendah termasuk siput dan bivalvia.

Hasil analisa Cd dalam perairan di Stasiun 1 dan stasiun 2 diperoleh nilai yakni 0.005 mg/l dan 0.004 mg/l. Hal tersebut diduga logam berat Cd berasal dari aktivitas penduduk di sekitar pantai yang diketahui membuang limbah rumah tangga secara langsung ke perairan, dan sebagian besar limbah tersebut didominasi oleh limbah plastik. Amoroso *et al.*, (2013) menyatakan, bahwa logam berat Cd memiliki tingkat toksik yang tinggi yang sering ditemukan pada pigmen plastik. Putri dan Aunurohim (2013) menambahkan kadmium (Cd) merupakan logam berat yang dapat menimbulkan efek negatif terhadap ekosistem dan manusia. Apabila masuk ke dalam tubuh maka sebagian besar akan terkumpul di dalam ginjal, hati dan sebagian dikeluarkan lewat saluran pencernaan. Namun kadmium juga dapat mempengaruhi otot polos pembuluh darah secara langsung maupun tidak langsung lewat ginjal yang berakibat terjadinya kenaikan tekanan darah. Organisme yang sangat rentan terhadap kontaminasi Cd adalah

organisme perairan yang menetap (sesil) karena sifat logam berat yang cenderung mengendap dibagian bawah perairan. (Rumahlatu (2011) melaporkan, bahwa konsentrasi Cd di dalam perairan lebih rendah dibandingkan dalam sedimen, hal tersebut disebabkan karena sebagian logam berat termasuk Cd yang berasal dari lingkungan umumnya terendapkan dalam sedimen sehingga sedimen sangat representatif untuk merekam akumulasi logam berat di perairan. Sumber - sumber logam berat Cd di laut, berasal dari sumber yang bersifat alami dari lapisan kulit bumi seperti masukan dari daerah pantai yang berasal dari sungai - sungai dan abrasi pantai akibat adanya aktivitas gelombang. Masukan dari laut dalam, dan masukan dari udara yang berasal dari atmosfer sebagai partikel - partikel debu. Selain itu logam berat Cd juga dapat berasal dari aktivitas manusia, seperti limbah pasar dan limbah rumah tangga, aktivitas transportasi laut dan aktivitas perbaikan kapal laut.

Stasiun 1 diperoleh hasil pengukuran kadar rata-rata logam berat merkuri (Hg) lebih tinggi dibandingkan dengan kadar Hg di stasiun 2. Tingginya kadar Hg pada pada stasiun 1 diduga karena di stasiun 1 oleh masyarakat sekitar pesisir digunakan sebagai tempat pembuangan akhir (TPA) dan sebagian besar merupakan sampah plastik. Tingginya merkuri juga diduga adanya masukan limbah pabrik di Kota Gresik yang mengalirkan limbahnya ke pesisir Kabupaten Gresik. Purnomo dan Muchyidin (2007) menyatakan, bahwa di Kota Gresik terdapat berbagai industri besar dan menghasilkan limbah yang dibuang ke perairan sekitarnya yang akan memasuki sungai dan bermuara ke pantai. Keberadan logam berat Hg di stasiun 2 diduga dipengaruhi oleh adanya limbah hasil pengolahan kerang hijau (*Perna viridis*) yaitu perebusan, limbah dari perebusan tersebut oleh masyarakat sekitar dibuang secara langsung ke perairan laut. Mubin (2014) melaporkan, tingginya kadar Hg pada perairan laut

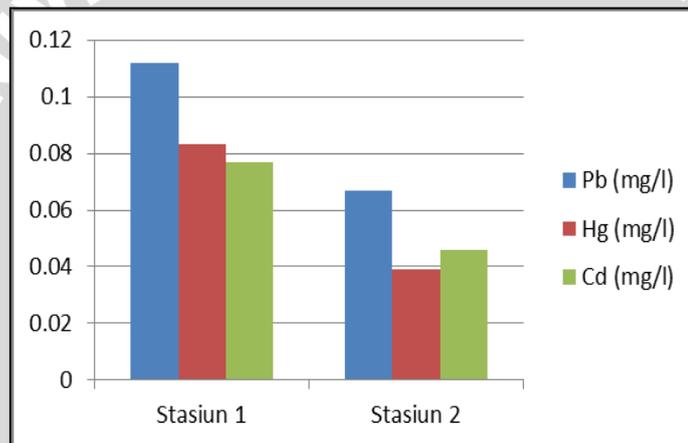
dikarenakan adanya cemaran dari sisa air perebusan dan pemindangan ikan dan berbagai jenis kepiting dan dibuang langsung ke laut.

Alfian (2006) menyatakan, sebagian besar merkuri yang terdapat di alam ini dihasilkan oleh sisa industri dalam jumlah  $\pm 10.000$  ton setiap tahunnya. Tragedi yang dikenal dengan "Minamata Disease" (penyakit Minamata), berdasarkan penelitian bahwa pencemaran merkuri di Teluk Minamata berasal dari buangan sisa industri plastik. Suseno dan Sahat (2007) menambahkan, pelepasan permukaan, deposisi atmosferik dan transportasi fluvial merupakan jalur utama transportasi merkuri dari daratan ke wilayah pesisir. Siklus merkuri melalui lingkungan laut melibatkan berbagai bentuk kimia yang berbeda-beda. Merkuri terdapat dalam tiga bentuk oksidasi yaitu  $Hg^0$  dalam bentuk logam,  $Hg^+$  dalam bentuk senyawaan merkuro dan  $Hg^{++}$  dalam bentuk senyawaan merkurik. Hasil studi tahun 1997 menunjukkan logam berat (tembaga, timbal, merkuri) meningkat setiap tahunnya.

Logam berat Hg masuk kedalam perairan melibatkan adanya reaksi reduksi dan oksidasi yakni dengan melepaskan elektron. Hal tersebut sesuai dengan Suseno dan Sahat (2007), yang menyatakan bahwa pada air permukaan merkuri tidak terdapat dalam bentuk ion bebas  $Hg^{2+}$  melainkan campuran senyawaan hidroksi dan kompleks kloro merkuri dan proporsi tergantung dari pH dan ion klorida. Merkuri di lingkungan perairan bergantung dari kondisi reduksi-oksidasi dan kandungan bahan organik terlarut. Pada pH rendah  $HgCl^2$  dan  $CH_3Hg^{2+}$ , sedangkan pada pH alkalis merkuri dominan dalam bentuk  $Hg^0$  dan  $(CH_3)_2Hg$ . Merkuri dominan dalam bentuk  $HgCl_4$  dan  $HgOH$  pada air yang bersifat oksidatif, sedangkan dalam kondisi reduktif dominan dalam bentuk  $CH_3HgS^-$  dan  $HgS^{2-}$ , sedangkan dalam kondisi yang bervariasi merkuri sering terdapat dalam bentuk  $CH_3HgCl$  dan  $CH_3Hg^{2+}$ .

#### 4.2.2 Analisis Logam Berat Pada Tiram

Rendahnya konsentrasi logam berat di dalam daging ada kaitannya dengan peran fisiologis dalam metabolisme kerang tersebut. 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. Daging bukan jaringan aktif dalam mengakumulasi logam berat. Perbedaan kecepatan laju metabolisme, penyerapan makanan dan bahan-bahan organik kemungkinan menjadi faktor penyebabnya.



**Gambar 8.** Grafik Kadar Logam Berat (Pb, Hg, Cd) pada daging tiram *Crassostrea iredalei*

Hasil pengukuran logam berat yang terakumulasi dalam daging *Crassostrea iredalei* tersaji melalui grafik pada Gambar 8. Analisis kadar rata-rata logam berat Pb pada daging tiram pada stasiun 1 adalah sebesar 0.112 mg/liter, Hg sebesar 0.083 mg/liter, dan Cd sebesar 0.077 mg/liter. Sedangkan analisis rata-rata kadar logam berat pada tiram di stasiun 2 yaitu Pb sebesar 0.067 mg/liter, Hg sebesar 0.039 mg/liter, dan Cd sebesar 0.046 mg/liter. Kadar logam berat pada daging tiram *Crassostrea iredalei* dari kedua stasiun yakni Pantai Dalegan dan Pantai Ujungpangkah, apabila ditinjau berdasarkan keputusan BPOM Nomor HK.00.06.1.52.4011 tahun 2009 menunjukkan bahwa

kadar rata - rata logam berat Pb, Hg, Cd yang terakumulasi di dalam daging tiram masih di bawah ambang batas yang diperbolehkan untuk dikonsumsi.

Rata - rata kadar logam berat pada daging tiram dari dua stasiun memiliki nilai yang berbeda. Kadar logam berat Pb dalam daging tiram menunjukkan nilai yang lebih tinggi di stasiun 1 daripada stasiun 2. Rata - rata kadar logam berat Cd pada daging tiram di stasiun 1 memiliki nilai terendah sedangkan di stasiun 2 rata - rata kadar logam berat Hg pada daging tiram yang memiliki nilai terendah. Tingginya kadar logam berat Pb dalam daging tiram dikarenakan juga tingginya kadar logam berat Pb dalam kolom perairan. Tiram *Crassostrea iredalei* yang diamati ditemukan di posisi dangkal, sehingga memungkinkan tiram lebih cepat terkontaminasi oleh limbah antropogenik seperti limbah transportasi laut, limbah pasar, perbaikan kapal, dan limbah rumah tangga. Polusi dari bahan bakar kapal akan lebih mudah menjangkau tiram yang terletak menempel pada bebatuan di perairan dangkal dan tidak terkena air pada saat surut terendah. Keseluruhan aktivitas tersebut, menimbulkan tingginya kadar logam berat Pb dalam perairan dan menyebabkan tingginya akumulasi kadar Pb pada daging tiram.

Andrew *et al.*, (2014) menyatakan, air laut yang telah mengandung logam dalam konsentrasi tinggi yang berasal dari sisa - sisa buangan industri, pelabuhan dan lalu lintas kapal akan segera diubah oleh mikroorganisme - mikroorganisme dari bentuk organik menjadi bentuk senyawa anorganik. Senyawa anorganik tersebut akan terserap oleh plankton dan algae kemudian akan dimakan oleh binatang laut lainnya termasuk kerang. Noviana (1994) dalam Prasetyo (2009) menyatakan, bahwa selain melalui insang, logam berat juga masuk melalui kulit (kutikula) dan lapisan mukosa yang selanjutnya diangkut darah dan dapat tertimbun dalam jantung dan ginjal kerang. Kadir *et al.*,(2013) menambahkan logam berat Pb masuk kedalam tubuh biota laut melalui insang,

permukaan tubuh, dan juga rantai makanan. Pencemaran logam berat dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur komunitas perairan, jaringan makanan, tingkah laku, efek fisiologi, genetik, dan resistensi. Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek khusus pada makhluk hidup. Logam berat dapat menjadi bahan racun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup. Logam Pb yang terakumulasi dalam tubuh biota laut akan menyebabkan terhambatnya pertumbuhan, meningkatnya mortalitas, penurunan laju metabolisme serta menurunkan kemampuan reproduksi biota laut. Jalaludin dan Ambeng (2005), menyatakan perbedaan kandungan logam Pb mungkin disebabkan oleh pengaruh perbedaan substrat atau habitat kerang tersebut, erosi atau jatuhnya dari udara, sehingga habitat yang mengandung logam-logam dengan konsentrasi yang berbeda akan berpengaruh juga pada kerang yang hidup di habitat tersebut. Selain perbedaan substrat, perbedaan kandungan logam berat pada kerang juga dapat disebabkan oleh perbedaan umur kerang. Semakin tua umur kerang tersebut akan memungkinkan semakin meningkatnya kandungan logam berat yang terakumulasi di dalam tubuhnya.

Kadar rata-rata Cd dalam daging tiram *Crassostrea iredalei* baik yang diambil dari stasiun 1 maupun stasiun 2 masih berada di bawah ambang batas untuk dikonsumsi. Konsentrasi Cd yang rendah ini berasal dari ketersediaan logam Cd di kolom perairan yang secara alami juga sangat rendah apabila dibandingkan dengan kadar Pb dan Hg di dalam perairan. Menurut Prasetyo (2009), Cd berikatan dengan mineral yang berukuran kecil sehingga mudah terangkat dari dasar. Logam Cd juga digunakan oleh badan kapal karena sifatnya anti korosif. Menurut Rompas (2012) dalam Rumahlatu (2011), kerang merupakan jenis biota laut yang mobilitasnya rendah yang relatif tahan hidup pada air yang tercemar. Adriyani dan Trias (2009) melaporkan pada biota yang tahan terhadap Cd, logam ini diserap oleh biota laut melalui insang dan saluran

pencernaan, tertimbun dalam jaringannya, dan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi. Cd dari berbagai aktivitas pada lingkungan perairan secara cepat diserap oleh organisme perairan dalam bentuk ion-ion bebas ( $\text{Cd}^{2+}$ ) dan berasosiasi dengan ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ) pada pH 7,0 dengan persentase  $\text{CdCl}_2^0$  (51%),  $\text{CdCl}^+$  (39%) dan  $\text{CdCl}_3^+$  (6%), dan yang tidak terkompleksitasnya  $\text{Cd}^{2+}$  kira-kira 2,5% dari total.

Kadar rata-rata logam berat Hg pada daging tiram diketahui terakumulasi lebih rendah apabila dibandingkan dengan akumulasi logam berat Pb pada daging tiram. Hal tersebut berbanding lurus dengan kadar rata-rata Hg pada perairan yang juga lebih rendah apabila dibandingkan dengan kadar rata-rata Pb di perairan, sehingga akumulasi Hg dari perairan ke daging tiram juga rendah. Susenno dan Sahat (2007) menyatakan, bahwa konsentrasi merkuri (Hg) dalam lingkungan perairan terutama air laut terdapat dalam konsentrasi rendah. Merkuri dalam organisme laut, umumnya ditemui dalam bentuk metal merkuri maupun merkuri ion. Metilasi merkuri yang menghasilkan metal merkuri terjadi melalui proses biotik yang terkait dengan bakteri pereduksi sulfat dalam sedimen. Bioakumulasi merkuri dan metil merkuri dalam organisme sebagai hasil dari interaksi antara faktor-faktor psikologi (pertumbuhan, kehilangan berat, absorpsi dan akumulasi), faktor-faktor kimia (konsentrasi, spesiasi, dan *bioavailability*) dan faktor-faktor lingkungan (suhu dan konsentrasi dalam pakan). Proses bioakumulasi secara umum merupakan selisih antara laju pengambilan (*uptake*) dari lingkungan ke dalam tubuh biota dan laju pelepasan (*depuration*) kontaminan dari tubuh ke lingkungan. Merkuri dalam tubuh ikan terbentuk umumnya berupa metilasi, hal ini karena sebagai hasil dari proses bioakumulasi dan biomagnifikasi metilmerkuri pada rantai makanan akuatik. Metilasi merkuri yang melibatkan reaksi antara  $\text{Hg}^{2+}$  dan metilkobalamin (dihasilkan oleh bakteri) menghasilkan merkuri organik. Bakteri dalam usus berbagai jenis binatang

termasuk ikan juga mampu mengkonversi merkuri ionik menjadi senyawa metil merkuri ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) walaupun dalam tingkatan rendah. Merkuri umumnya terdapat dalam mono metilmerkuri atau dalam bentuk ion  $\text{Hg}^{2+}$  pada organisme laut. Bakteri pereduksi sulfat (SRB) dari famili *Desulfobacteriaceae* berperan dalam pembentukan metil merkuri dalam sedimen di lingkungan akuatik. Produksi metilmerkuri di dalam sedimen berlangsung pada pH kurang dari 6.

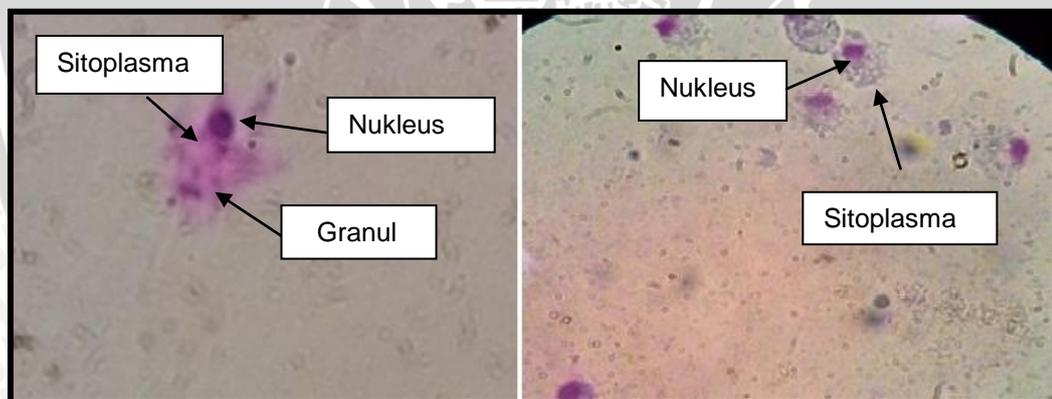
#### 4.3 Analisis *Differential Haemocyte Count* Tiram

Sel darah bivalvia berdasarkan morfologinya memiliki dua grup yang berbeda, sel amoeba yang disebut sel granulosit dan sel hyaline. Sel granulosit terdiri atas granula pada sitoplasma dan berkemampuan fagositosis serta berpindah menyerupai amoeba, sedangkan pada sel hyaline hanya terdapat sedikit granula (Galtsoff,1964). Aladeileh (2007) menambahkan, sel granulosit dari berbagai macam spesies memiliki subklas yakni eosinophil, basophil, dan neutrophil. Hasil pengamatan morfologi sel granulosit dan sel hyalinosit dengan menggunakan mikroskop cahaya perbesaran 100x ditunjukkan pada gambar 9. Berdasarkan gambar tersebut, terdapat perbedaan antara sel granulosit dan sel hyalinosit, yakni pada sel granulosit terdapat butir – butir granul pada sitoplasma, sedangkan pada sel hyalinosit tidak terdapat butiran granul pada sitoplasma.

Hasil pengamatan diperoleh, bahwa nilai granulosit pada tiram di stasiun 1 dan stasiun 2 berkisar antara 16.67% - 33.33%. Choi *et al.*,(2011) melaporkan pada granulosit yang tidak tercemar ditemukan sebanyak  $16.9\% \pm 5.5\%$  atau pada kisaran 11.24 - 22.4%, sedangkan granulosit yang diinfeksi dengan pathogen *Marteiloides chungmuensis* ditemukan sebanyak  $25.2 \pm 7.2\%$  atau berkisar pada 18 – 32.7 %. Granulosit pada tiram dari stasiun 2 lebih banyak ditemukan daripada tiram dari stasiun 1, hal tersebut diduga dipengaruhi oleh tingginya kadar rata-rata logam berat Pb di perairan stasiun 2 daripada rata-rata

logam berat Pb di perairan di stasiun 1. Palar (2012) menyatakan lebih dari 90% logam Pb dapat terserap oleh darah, selain itu Pb sangat mudah masuk kedalam tubuh organisme karena adanya asam lambung (HCl) yang memiliki kemampuan menyerap logam Pb.

Sel granulosit yang ditemukan dan diketahui aktif melakukan fagositosis pada tiram mengartikan bahwa sudah terjadi respon perlawanan internal di dalam tubuh tiram terhadap kondisi lingkungan yang tercemar logam berat Pb, Hg, dan Cd. Granulosit merupakan sel yang banyak mengandung butir-butir granul dan memiliki aktivitas yang tinggi dalam fagositosis dan pergerakannya yang menyerupai amoeba. Sel granulosit sangat mudah berubah bentuk, dan ukuran. Beberapa enzim yang ditemukan dalam granulosit yakni amilase, glikogenase, lipase, protease, dan sistem oksidasi yang kompleks (Galtsoff,1964). Granulosit juga mengandung enzim hidrolitik yang berfungsi melakukan fagositosis (Aladeileh,2007).



**Gambar 9.** Hasil pengamatan morfologi sel Granulosit (A), Sel Hyalin (B) dengan menggunakan mikroskop cahaya perbesaan 100x

Hyalinosit pada penelitian ini ditemukan lebih banyak daripada granulosit. Hyalinosit ditemukan 67% - 100% pada tubuh tiram yang terkontaminasi logam berat Pb, Hg, Cd. Galtsoff (1964), melaporkan bahwa, sel hyalinosit pada tiram *Crassostrea virginica*, pada kondisi normal dan sehat ditemukan sebanyak 40%, selain itu juga dinyatakan bahwa proporsi sel hyalinosit bervariasi antara 25%-

64% pada tiram dengan kondisi normal dan jenis yang berbeda-beda. Choi *et al.*, (2011), menambahkan hyalinosit pada *Crassostrea gigas* yang tidak tercemar ditemukan sebanyak  $81.8 \pm 5.5\%$  atau pada kisaran 76.3 – 87.3% dan hyalinosit yang diinfeksi dengan *m. chungmuensis* ditemukan sebanyak  $73 \pm 7.3\%$  atau berkisar pada 65.7 – 80.3%. Hyalinosit lebih banyak ditemukan daripada granulosit, diduga karena sel hemosit tiram *Crassostrea iredalei* merupakan pelaku utama untuk pengenalan terhadap benda asing dalam hal ini yaitu logam berat dan untuk selanjutnya dienkapsulasi. Hasil analisa granulosit dan hyalinosit berdasarkan beberapa literatur diatas menunjukkan bahwa hemosit *Crassostrea iredalei*, granulosit dan hyalinosit dalam penelitian ini termasuk pada kondisi tidak normal tercemar.

Ekawati *et al.*,(2012) menyatakan, sel semi granular merupakan pematangan dari sel hyalin yang ketika terjadi serangan pathogen maka yang berperan pertama adalah sel hyaline. Sel semigranular berperan utama dalam proses enkapsulasi dan sedikit dalam proses fagositosis. Fungsi sel granular lebih pada proses menghasilkan enzim phenoloksidase yang memiliki peranan penting dalam sistem pertahanan non spesifik. Sel granular hemosit terdiri dari propenoloksidase. Aktivasi prophenoloksidase (proPO) akan membebaskan suatu enzim dari sel granular. Galtsoff (1964) menyatakan, sel hyalinosit terdiri atas sedikit granula dan kurang aktif melakukan fagositosis. Aladeileh (2007) menambahkan, bivalvia memiliki sistem imun innate yang terdiri dari dua komponen, yaitu seluler dan humoral.

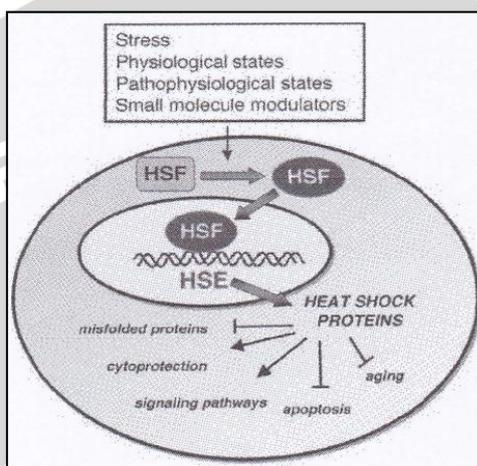
Sokolova (2005) menyatakan pada hemosit terdapat mitokondria yang merupakan kunci intraselular untuk terjadinya kontaminasi logam berat karena sifatnya yang permeabel dan sangat sensitif. Mitokondria yang mengakumulasi logam berat mengakibatkan terganggunya keseimbangan energi dan mempercepat kematian sel. Murtini *et al.*,(2008) menjelaskan, masukan logam

berat ke dalam tubuh secara aktif melalui rantai makanan dan pasif melalui laju pertukaran ion logam dengan lingkungannya sangat mudah, terutama ion logam yang berikatan dengan metalloprotein karena ikatan logam ini sangat labil. Palar (2012), menambahkan mekanisme kerja reaksi logam terhadap protein, pada umumnya menyerang ikatan sulfida. Penyerangan terhadap ikatan sulfida yang selalu ada pada molekul protein itu akan menimbulkan kerusakan dari struktur protein. Disamping itu logam berat mempunyai kemampuan untuk menggantikan keberadaan logam - logam lain yang terdapat dalam protein-logam (metalloprotein). Sebagai contoh untuk logam yang ada dalam suatu protein logam adalah Cu (tembaga). Logam Cu pada kondisi normal sangat berguna untuk pembentukan ikatan – ikatan kovalen koordinasi antar molekul protein.

Sokolova (2005), menjelaskan sel hemosit mengandung lisosom yang berfungsi memerangi logam-logam yang terakumulasi, yang dikarenakan lisosom pada moluska, terdapat enzim hidrolitik yang berfungsi untuk fagositosis. Menurut Choi *et al.*, (2008), organisme yang mengakumulasi logam berat dapat merubah dan mendegradasi proses dari aktivasi enzim, sehingga terjadi kerusakan sel, dan mengakibatkan kematian sel. Kemampuan organisme melawan racun dan stres melalui mekanisme fisiologis untuk pertahanan homeostasisnya, dengan melibatkan ekspresi *Heat shock protein* (Hsp) yang merupakan protein untuk melawan stres. Hsp adalah suatu protein yang dihasilkan karena adanya *Heat shock response* (HSR). Hsr adalah suatu respon berbasis genetik baik yang bersifat *physiological* maupun yang berasal dari lingkungan untuk menginduksi gen-gen yang mengkode *molecular chaperone*, protease dan protein-protein lain yang penting dalam mekanisme pertahanan dan pemulihan luka pada sel-sel yang berhubungan dengan terjadinya *misfolded protein*.

Ekspresi Hsp dapat diinduksi oleh berbagai macam stress diantaranya kenaikan temperatur, logam-logam berat, infeksi dan gangguan radikal bebas. HSR (*Heat Shock Response*) adalah reaksi sel dan organisme terhadap adanya benda asing dan kenaikan suhu (*heat shock* atau *heat stress*). *Heat stress* dapat mengakibatkan kerusakan dan kematian sel, sedangkan dosis subletal dari *heat stress* akan memicu reaksi seluler yang disebut *heat shock response*. HSR diatur pada tingkat transkripsi oleh suatu mekanisme yang melibatkan *heat shock transcription factor* (HSF), yang paling berperan dalam modulasi HSR adalah HSF1. Faktor yang dapat mengaktifkan HSF1 adalah kesalahan dalam pelipatan protein, gangguan homeostasis protein, dan perubahan kondisi redoks intraseluler yang diakibatkan karena stres. HSF1 dapat dihambat oleh mekanisme umpan balik negatif melalui interaksinya dengan Hsp70 dan Hsp90. Ekspresi Hsp90 dan Hsp70 yang tinggi pada suatu sel akan mengakibatkan terminasi ekspresi gen *heat shock* (proses autoregulasi) (Widjaja *et al.*, 2009). Hsp sebagai mediator pro inflamasi mampu mengaktifasi beberapa efektor sistim imun dan pelepasan sitokin. Pelepasan Hsp pada lingkungan ekstraselular akan mengakibatkan respon imun berupa sinyal bahaya untuk aktivasi sistem imun, oleh karena itu Hsp pada ekstraselular merupakan ko stimulasi pengenalan imun. Hsp berlokasi di sitoplasma, mitokondria, dan retikulum endoplasma (Rinaldo,2012). HSF melakukan fosforilasi dan kembali ke nukleus kemudian berikatan dengan *Heat shock element* (HSE) yang didalamnya mengandung promoter dari *heat shock gen* berfungsi melakukan transkripsi dan sintesis Hsp untuk menghasilkan Hsp70 baru untuk mengikat denaturasi protein, oleh karena itu, stress menstimulasi sintesis dari Hsp70 berfungsi memperbaiki aktivitas struktur dan fungsi protein. Hsp70 telah terdeskripsikan pada moluska, termasuk *Crassostrea gigas*, *Ostrea edulis*, *Mytilus edulis*, *Chlamys farreri*, dan *Argopectern irradians*. Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui dampak stres

lingkungan, termasuk perubahan musim, salinitas, akumulasi logam berat dan infeksi bakteri pada spesies moluska yang berbeda telah diketahui dan diakui terdapat hubungan antara fisiologis dengan ekologi yang berpengaruh pada ekspresi gen *heat shock* terhadap respon perubahan lingkungan (Choi *et al.*, 2008). Aktivasi HSF dalam menginduksi ekspresi Hsp ditunjukkan pada Gambar 10 (Widjaja *et al.*, 2009).



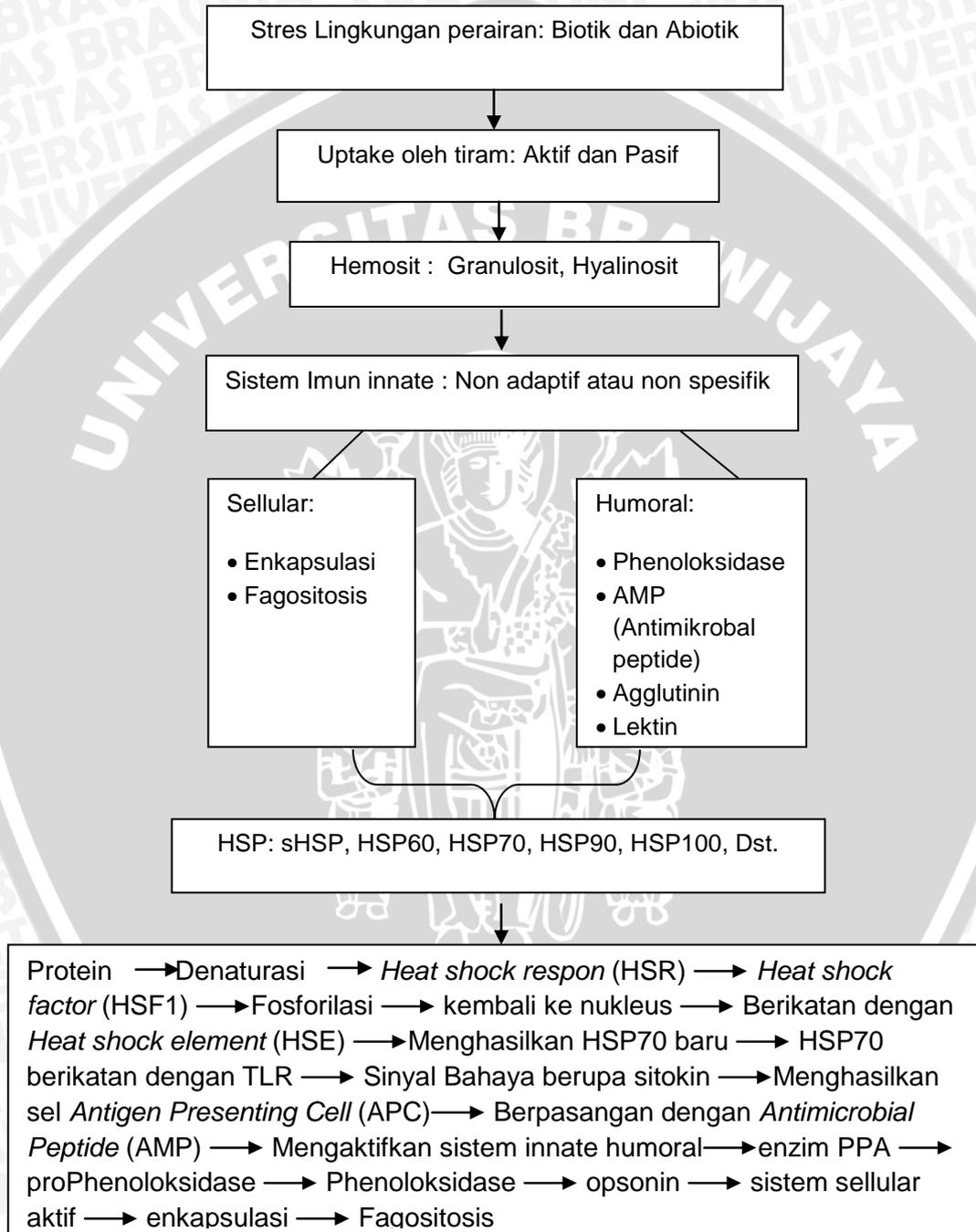
**Gambar 10.** Aktivasi HSF dalam menginduksi HSP (Widjaja *et al.*, 2009)

**Keterangan :** Aktivasi HSF akan menginduksi ekspresi Hsp, yang berfungsi mencegah terbentuknya *misfolding* protein, menginduksi *cytoprotective*, mempromosikan jalur persinyalan untuk pertumbuhan sel, mencegah apoptosis, dan menghambat penuaan.

Sung dan Thomas (2011) menyatakan, Hsp tidak hanya sebagai upaya terhadap perlawanan pathogen melalui fungsi sebagai molekul chaperon, tetapi Hsp juga sebagai perantara humoral dan selular respon imun innate. Hsp70 mengandung gen sistem imun yang tinggi dan bekerja dengan berpasangan bersama TLR (*Toll like receptors*). Hsp akan memproduksi sitokin dan mengirim peptide untuk memunculkan sel antigen melalui *Antigen Presenting Cell* (APC). Pengaktifan ikatan Hsp yang berikatan dengan TLR akan mengirimkan sinyal kepada sel innate dan membuat resisten perlawanan penyakit. Seperti pada invertebrata lainnya, udang dan bivalvia memiliki sistem imun non adaptif dan mereka mampu mengeliminasi pathogen bergantung pada kooperatif dari

mekanisme selular dan humoral innate. Hemosit pada kerang memainkan peranan terhadap fagositosis, terutama respon sel imun dalam memerangi patogen. Fungsi fagositosis bereaksi dengan komponen lain dari sistem imun seperti prophenoloksidase (proPo) dan antimikroba peptida. Na'fan(2009) menyatakan, sistem humoral terdiri dari enzim lisosom, agglutinin, lektin, phenoloksidase, dan AMPs (*antimicrobial peptides*). Berdasarkan Alifudin (2002), granulosit mengandung Phenoloksidase, proPhenoloksidase, lektin atau agglutinin dan serin protease yang berperan dalam respon humoral. Komponen benda asing dapat mengaktifasi respon pertahanan selular seperti fagositosis, enkapsulasi, dan koagulasi. Oponin atau sel antibodi dapat meningkatkan kemampuan fagositosis sel hemosit. ProPO diaktifkan oleh enzim *prophenoloksidase activating enzyme* (PPA), ProPO dan PPA ini merupakan protein yang berlokasi di granular hemosit. Pengaktifan proPO menjadi PO menghasilkan protein *Oponin Factor* yang merangsang fagositosis (Harijanto, 2013). Choi *et al.*,(2008) menyatakan, salah satu Hsp yang juga berfungsi dalam pertahanan stress lingkungan yakni Hsp90. Hsp90 berperan dalam memerangi stress seperti perubahan suhu air, salinitas, konsentrasi logam berat, dan substansi kimia organik dan anorganik. Level ekspresi Hsp90 mRNA dilaporkan meningkat seiring dengan meningkatnya dosis dan durasi pemaparan kadmium (Cd). Hasil tersebut terjadi karena cadmium bersifat sebagai stress racun dan Hsp90 terekspresi sebagai pertahanan homeostasis dan perlindungan sel. Hsp70 dan Hsp90 mampu berikatan dan berfungsi sebagai sinyal peptida. Pada spesies bivalvia seperti tiram, protein, karbohidrat, garam, ion, dan hemosit pada hemolim mengalir dari lubang perikardial menuju membran untuk melakukan perlawanan dengan melakukan fagositosis dan enkapsulasi melalui sel-sel darah. Zhang dan Qizong (2012) melaporkan, Hsp70 terdeskripsi pada seluruh spesies moluska. Pemaparan diatas dapat menggambarkan mekanisme

hemosit sebagai sistem imun dalam melawan benda asing, dalam hal ini logam berat Pb, Hg, Cd melalui sistem humoral dan selular yang dirangsang oleh adanya ekspresi *Heat shock protein* hingga terekspresinya *Differential Haemocyte Count* disajikan pada Gambar 11



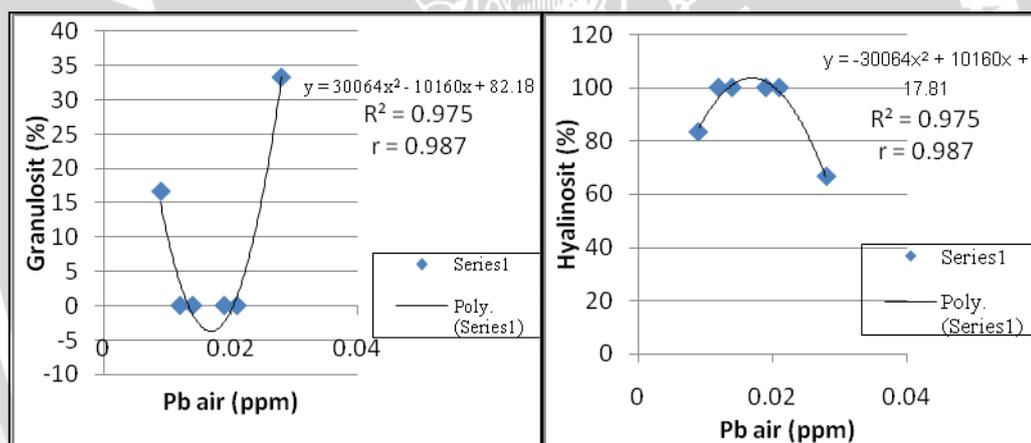
**Gambar. 11** Mekanisme ekspresi stress lingkungan terhadap sistem imun non adaptif (Choi *et al.*, 2008; Widjaja *et al.*, 2009; Rinaldo, 2012; Sung dan Thomas, 2011; Zhang dan Qizong, 2012)

#### 4.4 Analisis Hubungan Hemosit Tiram dengan Logam Berat di Perairan

Mekanisme masuknya logam berat ke dalam tubuh organisme dibedakan menjadi 2, yaitu secara aktif dan pasif. Secara aktif dapat melalui proses makan-memakan (rantai makanan). Luo *et al.*, (2014) menyatakan, insang dan kelenjar pencernaan dapat melakukan bioakumulasi lebih banyak daripada membran lain pada tiram yang hidup di lingkungan yang terkontaminasi logam. Karena insang merupakan membran yang berfungsi menyaring makanan dan juga merupakan membran utama untuk terkontaminasi logam. Galloway dan Michael (2001) menyatakan, siklus *active uptake* terjadi melalui beberapa tahapan yakni bioaktivasi, biotransformasi, dan ekskresi.

*Passive uptake* terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda, pertama pertukaran ion, dimana ion monovalen dan divalent pada dinding sel seperti Na, Mg, dan Ca, digantikan oleh ion-ion logam berat dan kedua adalah formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan fungsional gugus seperti carboxyl, amino, thiol, hydroxyl, phosphate, dan hydroxyl-carboxyl, yang berada pada dinding sel (Onrizal, 2005). Ion logam berat yang tersebar pada permukaan sel akan mengikat pada bagian permukaan sel berdasarkan kemampuan daya afinitas kimia yang dimilikinya. Mekanisme masuknya logam berat melewati membran sel sama dengan proses masuknya logam esensial melalui sistem transport membran, hal ini disebabkan adanya kemiripan sifat antara logam berat dengan logam esensial dalam hal sifat fisika-kimia secara keseluruhan (Makkasau *et al.*, 2011). Hemosit memiliki fungsi sebagai transportasi nutrient, ekskresi materi secara eksogen dan endogen, serta melakukan pertahanan internal (Hegaret, 2003). Parameter hemosit dapat dilihat dari fagositosis, kematian hemosit dan persentase granulosit (Batrice *et al.*, 2007).

Hasil perhitungan menggunakan analisa regresi korelasi logam berat Pb di perairan terhadap hyalinosit dan granulosit pada hemosit tiram *Crassostrea iredalei* yang diambil dari Pantai Ujungpangkah dan Pantai Dalegan, disajikan pada Gambar 12. Grafik tersebut menunjukkan tingkat determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0.975 pada granulosit dan hyalinosit serta tingkat korelasi ( $r$ ) sebesar 0.978. Walpole (1995) menyatakan, bahwa tingkat  $r$  koefisien dibedakan menjadi 5 interval, yaitu 0.00 sampai 0.199 memiliki tingkat hubungan sangat rendah, 0.20 sampai dengan 0.399 rendah, 0.40 sampai dengan 0.599 cukup, 0.60 sampai dengan 0.799 kuat dan 0.8 sampai 1 sangat kuat. Hasil analisa tersebut menyatakan bahwa logam berat Pb di perairan memiliki pengaruh hubungan yang sangat kuat dengan hyalinosit dan granulosit pada *Crassostrea iredalei*.



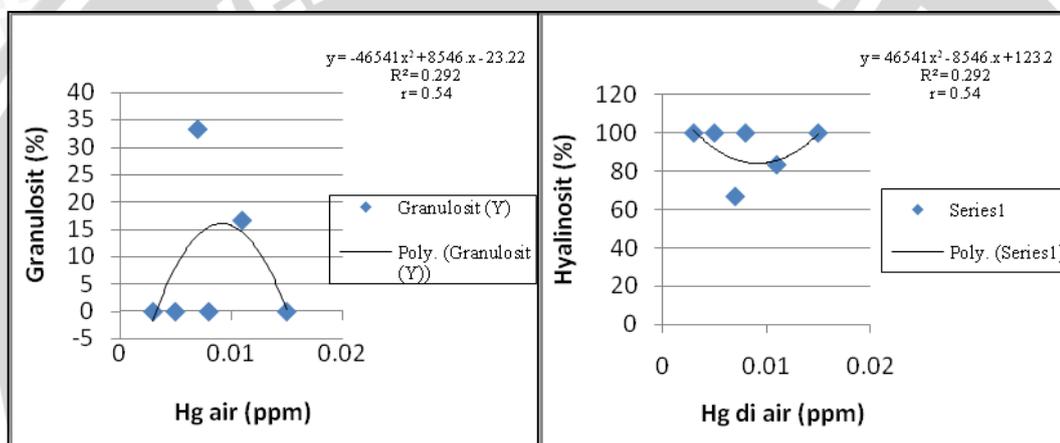
**Gambar 12.** Grafik kuadratik Pb di air terhadap hemosit tiram

Hubungan logam berat Pb dan hemosit tiram memiliki pola grafik kuadratik untuk granulosit berbentuk parabola terbalik, sedangkan untuk hyalinosit kurva kuadratik dan bentuk parabola, sehingga hal tersebut mengindikasikan bahwa, semakin bertambahnya logam berat Pb di perairan akan menurunkan jumlah granulosit. Meningkatnya Pb di perairan, mengakibatkan granulosit terus menurun sampai titik minimum namun granulosit mampu kembali meningkat. Sedangkan hubungan logam berat Pb di perairan dengan hyalinosit, semakin bertambahnya logam berat Pb di perairan, hyalinosit

semakin meningkat. Semakin Pb bertambah, hyalinosit terus meningkat dan mampu sampai pada titik maksimum, namun setelah itu mengalami penurunan. Kemampuan hemosit dalam melawan pathogen tersebut diduga adanya protein unik yang disebut *Heat shock protein* (Hsp). Choi *et al.*,(2008) menyatakan, Hsp70 dan Hsp90 berperan dalam memerangi stress seperti perubahan suhu air, salinitas, konsentrasi logam berat dan substansi kimia organik. Hsp akan meningkat ketika adanya stressor pada lingkungan baik biotik maupun abiotik. Palar (2012) menambahkan, Hg dan Pb termasuk kedalam golongan ion logam Kelas B yaitu kelompok ion logam yang cenderung untuk berikatan dengan gugus sulfur dan nitrogen. Ion – ion logam Hg dan Pb yang dapat larut dalam lemak tersebut mampu melakukan penetrasi pada membran sel, sehingga akhirnya terakumulasi (menumpuk) di dalam sel dan organ lain.

Tingkat determinasi ( $R^2$ ) Pb di perairan terhadap hemosit tiram sebesar 0.975, diketahui bahwa logam berat Pb di perairan dapat mempengaruhi hemosit tiram sebesar 97%, dan hemosit tiram dipengaruhi oleh faktor lain sebesar 3%. Faktor lain tersebut dapat berupa abiotik dan biotik. Beatrice *et al.*,(2007) menyatakan, karakteristik hemosit dapat dipengaruhi oleh musim. Peningkatan suhu air akan mampu meningkatkan aktivitas fisiologis dari tiram serta dapat mempengaruhi aktivitas hemosit, yakni akan berakibat terhadap minimnya aktivitas fagositosis dan peroxidase, enzim antioksidan, lisosom dan jumlah fluktuasi sirkulasi hemosit bergantung pada suhu. Korelasi antara suhu dan parameter hemosit digambarkan memiliki korelasi negatif terhadap suhu perairan. Kematian sel dan persentase granulosit, berkorelasi positif terhadap suhu air dan meningkat pada saat yang sama. Granulosit lebih sensitif terhadap faktor lingkungan seperti peningkatan suhu, sehingga dapat mengakibatkan peningkatan kematian hemosit. Jumlah fagositosis dan nilai sirkulasi sel juga mengalami peningkatan sesuai dengan suhu yang meningkat.

Hubungan logam berat Hg di perairan dengan granulosit dan hyalinosit pada *Crassostrea iredalei* dianalisa menggunakan regresi korelasi disajikan pada Gambar 13. Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut, pada grafik hubungan Hg dengan granulosit, didapatkan nilai determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0.292 dan tingkat korelasi 0.54. Walpole (1995) menyatakan, tingkat korelasi logam berat Hg di perairan dengan granulosit memiliki hubungan yang cukup. Tingkat determinasi dan tingkat korelasi yang sama juga terjadi pada hubungan hyalinosit dengan Hg di perairan, yakni memiliki hubungan yang cukup dengan tingkat determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0.292 dan tingkat korelasi ( $r$ ) sebesar 0.54.



**Gambar 13.** Grafik kuadratik Hg di air terhadap hemosit tiram

Pola grafik Hg di perairan dengan granulosit menggambarkan pola kurva kuadratik disajikan pada Gambar 13. Grafik tersebut mengindikasikan bahwa semakin meningkatnya Hg di perairan, granulosit juga akan mengalami peningkatan, namun pada konsentrasi Hg yang terus meningkat, granulosit akan mencapai pada titik maksimum dan kemudian mengalami penurunan. Penurunan tersebut dapat terjadi, diduga karena granulosit sudah tidak mampu melakukan perlawanan pathogen dalam hal ini Hg yang terus meningkat, sehingga granulosit akan menurun. Grafik hubungan Hg di perairan dengan hyalinosit memiliki pola kurva kuadratik bentuk parabola terbalik, hal tersebut dapat diindikasikan bahwa semakin meningkatnya Hg di perairan maka hyalinosit akan

semakin menurun dan sampai di titik minimum, apabila Hg tersebut masih terus meningkat maka hyalinosit akan kembali mengalami peningkatan, hal tersebut diduga karena hyalinosit merupakan pelaku utama untuk mengenali pathogen dan kurang aktif dalam melakukan fagositosis yang disebabkan karena sedikitnya granula pada hyaline tersebut. Ketika pathogen semakin meningkat, dan hyalinosit belum mengalami pematangan, maka akan semakin mudah hyaline untuk mengalami kematian, sedangkan ketika sudah matang hyaline akan mampu melakukan enkapsulasi untuk melawan pathogen. Ekawati *et al.*, (2012) menyatakan, bahwa sel semi granular merupakan pematangan dari sel hyaline yang ketika terjadi serangan pathogen, maka yang berperan pertama kali adalah sel hyalin. Sel semigranular berperan utama dalam proses enkapsulasi dan sedikit dalam proses fagositosis. Galtsoff (1964) menyatakan, sel hyaline mengandung sedikit granula dan kurang aktif dalam melakukan fagositosis.

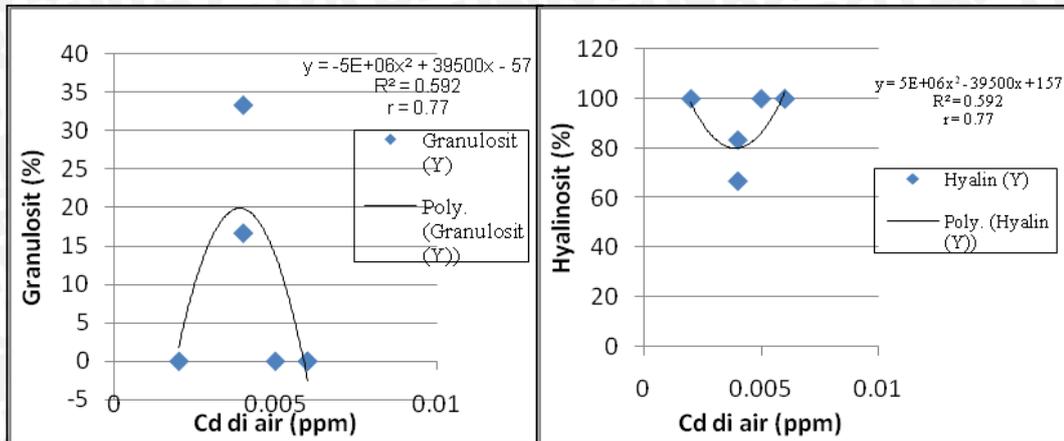
Tingkat determinasi logam berat Hg di perairan terhadap hyalinosit dan granulosit *Crassostrea iredalei* sebesar 0.29, menandakan bahwa Hg di perairan tidak dapat mempengaruhi DHC tiram, dan DHC tiram dipengaruhi oleh adanya faktor – faktor lain. Prihartini dan Ade (2013) menyatakan, penurunan salinitas perairan akan meningkatkan toksisitas logam berat, karena logam – logam menjadi lebih mudah larut. Merkuri yang terlarut di air, dan bersifat lipofilik, sangat mudah masuk ke dalam tubuh. Jalur masuk merkuri ke tubuh kerang secara filtrasi terutama melibatkan insang. Kondisi toksis ini memicu tubuh melakukan penyesuaian metabolisme, antara lain dengan jalan ekskresi ataupun detoksifikasi. Proses detoksifikasi alamiah diawali dengan pengikatan ion logam di permukaan sel, karena ion – ion positif terikat pada sisi reaktif muatan negatif polimer ekstraseluler. Tahap selanjutnya terjadi transportasi ion – ion logam ke sitoplasma lalu diakumulasi oleh metalloprotein. Tidak semua biota mampu mensekresikan logam, sehingga pada hewan laju detoksifikasi menjadi satu –

satunya menyeimbangkan laju pengambilan (*uptake rates*) untuk mencegah toksisitas logam. Saat logam pertama kali masuk ke tubuh, regulasi logam segera dimulai, dan ion – ion logam disirkulasikan ke seluruh tubuh oleh cairan hemolim. Logam – logam toksik diekskresikan, sementara logam yang tidak terekskresi terakumulasi dalam tubuh. Logam yang terakumulasi akan diregulasi melalui metabolisme, atau dilepaskan melalui detoksifikasi dan/atau ekskresi.

Suseno dan Panggabean (2007) menyatakan, proses bioakumulasi logam berat secara kimiawi merupakan reaksi pembentukan senyawa kompleks antara logam berat dengan sel – sel organisme yang berfungsi sebagai ligan. Proses tersebut diterangkan melalui teori *Ligan Biotic Model* (model ligan biotik). Dalam sistem larutan, logam dalam berbagai bentuk ini harus melewati dinding sel. Makromolekul dalam dinding sel bersifat porus dan mengandung gugus fungsional sederhana yang didominasi oleh grup oksigen sebagai donor elektron ( $-\text{COH}$ ;  $-\text{COOH}$ ;  $-\text{P}(\text{O})(\text{OH})_2$ ). Pada pH netral kebanyakan gugus fungsional tersebut mengalami ionisasi menghasilkan matriks hidrofilik bermuatan negatif sehingga ion logam dan bentuk kompleksnya dapat melewati membran plasma. Interaksi logam dengan sel mengikuti beberapa langkah yaitu: difusi logam dari larutan ke permukaan biologis, sporsi/kompleksasi logam pada sisi ikatan pasif dalam lapisan pelindung atau sisi pengikat spesifik pada permukaan luar membran plasma dan pengambilan atau internalisasi logam yang diangkut sepanjang membran plasma.

Hasil pengolahan data regresi korelasi logam berat Cd di perairan dan hemosit *Crassostrea iredalei* ditunjukkan pada Gambar 14. Tingkat determinasi ( $R^2$ ) diperoleh sebesar 0.592 dan tingkat korelasi ( $r$ ) sebesar 0.77. Tingkat determinasi dan tingkat korelasi pada hubungan Cd di perairan dengan granulosit dan hyalinosit memiliki nilai yang sama. Walpole (1995) menyatakan, tingkat korelasi antara Cd di perairan dan hemosit tiram sebesar 0.77 memiliki hubungan

yang kuat, sedangkan nilai determinasi sebesar 0.59 menunjukkan bahwa, Cd di perairan mampu mempengaruhi hemosit pada tiram sebesar 59% dan 41% hemosit dipengaruhi oleh faktor lain.



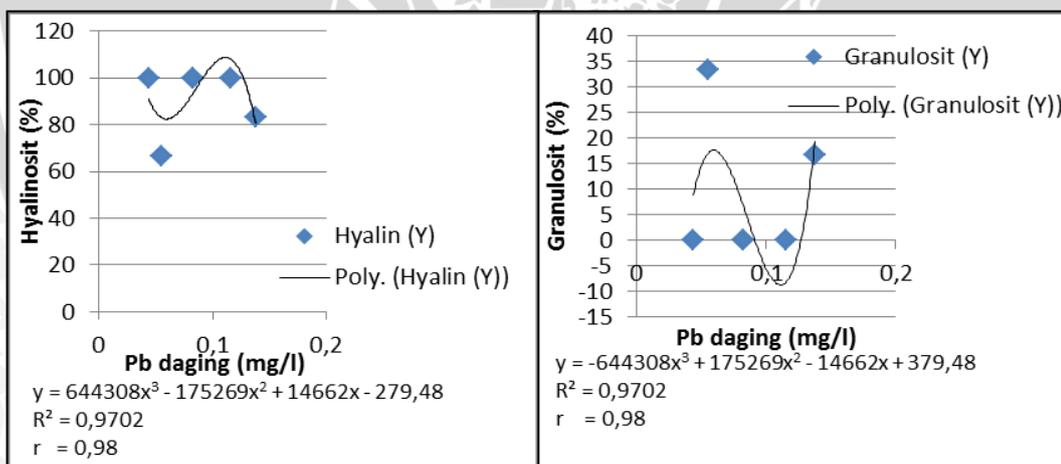
**Gambar 14.** Grafik kuadratik Cd di air terhadap hemosit tiram

Sokolova (2004) menyatakan, hemosit sangat sensitif terhadap gangguan eksternal seperti suhu, salinitas, dan partikel polusi kimia dari lingkungan. Polusi lingkungan dapat memberikan efek yang signifikan pada homeostatis pada jumlah sel hemosit. Menurut Hegaret *et al.*, (2003), hemosit pada tiram tidak dapat terus menerus hidup. Kok *et al.*, (2002) menyatakan bahwa pada saat nilai pH diatas titik isoelektrik sel mikroorganismen maka akan ada muatan negatif pada sel tersebut. Sedangkan pada pH lebih rendah dari titik isoelektrik maka muatan ion permukaan sel akan positif sehingga akan menghambat ikatan logam (kation). Jasmidi (1998) memperkirakan muatan titik nol atau titik isoelektrik gugus fungsi protein penyusun dinding sel mikroorganismen terdapat pada pH 3. Ketika nilai pH lebih kecil dari 3 maka *binding site* bermuatan positif, sedangkan pH lebih besar dari 3 maka *binding site* bermuatan negatif. Hal tersebut menyebabkan timbulnya daya tarik elektrostatis antara ion  $Cd^{2+}$  dengan *binding site* pada dinding sel yang bermuatan negatif.

#### 4.5 Analisis Hubungan Hemosit Tiram dengan Logam Berat di Daging

##### Tiram

Gambar 15 menunjukkan hasil analisa regresi sederhana kandungan logam berat Pb yang terakumulasi di dalam daging tiram *Crassostrea iredalei* terhadap hemosit yakni granulosit dan hyalinosit. Pada gambar 15, berdasarkan hasil analisa statistik diperoleh nilai R determinan ( $R^2$ ) logam berat Pb di daging tiram terhadap hemosit baik hyalinosit maupun granulosit sebesar 0,97. Nilai R determinan tersebut menunjukkan bahwa logam berat Pb yang terakumulasi dalam daging tiram mampu mempengaruhi ekspresi hemosit (*differential haemocyte count*) sebesar 97% dan 3% dipengaruhi oleh faktor lain. Sedangkan untuk nilai r korelasi (r) logam berat pb dalam daging tiram terhadap ekspresi hemosit sebesar 0,98. Berdasarkan Walpole (1995), nilai r korelasi sebesar 0,98 termasuk kedalam interval korelasi yang sangat kuat, dalam hal ini yakni korelasi logam berat Pb terhadap ekspresi hyalinosit dan granulosit tiram.



**Gambar 15.** Grafik kubik Pb di daging terhadap hemosit

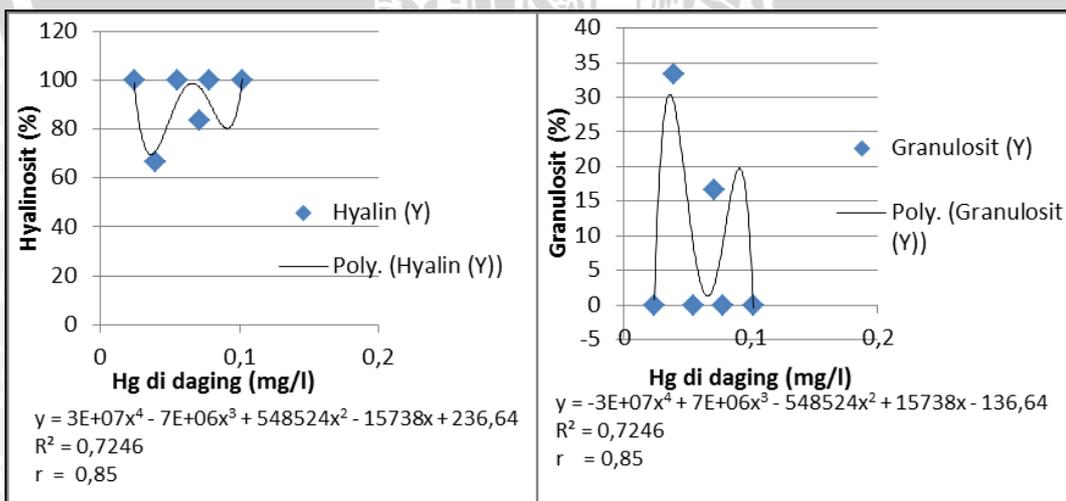
Pola grafik hubungan logam berat Pb di daging terhadap ekspresi DHC hyalinosit tiram *Crassostrea iredalei* menjelaskan bahwa bertambahnya akumulasi logam berat Pb di dalam daging tiram maka ekspresi hyalinosit akan meningkat namun pada titik tertentu akan mengalami penurunan. Hal tersebut

diduga bahwa sesuai dengan fungsinya hyalinosit berperan dalam pengenalan material asing sehingga pada saat tertentu akan mengalami penurunan yang disebabkan adanya toksik yang tidak mampu dilawan oleh hyalinosit namun hanya mampu dikenali saja. Sesuai dengan pernyataan Ekawati *et al.*, (2012) bahwa sel semi granular merupakan pematangan dari sel hyalin yang ketika terjadi serangan patogen maka yang berperan pertama adalah sel hyalin, sehingga sel ini tidak berkembang menjadi sel semi granular dan terlihat penurunan jumlah sel semi granular yang terdapat dalam hemosit. Sel hyalin mampu merespon polisakarida dari dinding jamur atau bakteri. Masukan logam berat kedalam organisme salah satunya adalah melalui rantai makanan, yang mana logam berat tersebut sebelumnya telah diakumulasi terlebih dahulu oleh bahan organik seperti fitoplankton. Bahan organik seperti fitoplankton tersusun atas senyawa organik seperti karbohidrat, protein dan lemak, sehingga material asing seperti logam berat yang telah terakumulasi ke dalam fitoplankton akan mampu dikenali oleh sel hyalinosit. Manopo dan magdalena (2014), menambahkan proses imun pertama pada invertebrata adalah pengenalan mikroorganisme penyerang yang dimediasi oleh hemosit dan plasma protein. Beberapa tipe modulator protein telah diketahui dapat mengenal komponen dinding sel mikroorganisme seperti  $\beta$  - 1,3 - *glucan binding protein* (BGBP), *lipopolysaccharidae-binding protein* (LPS-BP), hemosit reseptor yang mengikat *plasmatic glucan - binding protein* (PGBP) setelah PGBP bereaksi dengan  $\beta$  - 1,3 - *glucan*; *peptidoglycan recognition protein* *peptidoglycan recognition protein* yang mampu mengaktifkan phenoloxidase untuk melakukan perlawanan selanjutnya.

Alifuddin (2002), menyatakan respon humoral dimungkinkan oleh adanya *multivalen sugar binding agglutinin*, yang disebut sebagai lektin atau hemagglutinin dan *monovalen sugar binding residue*, disebut beta glukon

binding protein (BGBP). Monomerik glikoprotein tersebut merupakan faktor humoral yang berperan dalam respon humoral dengan berat molekul 76 kDA yang berperan sebagai faktor pelekat sel hemosit pada permukaan benda asing dan berkaitan dengan sistem proPhenoloxidase, enkapsulasi.

Hasil analisa regresi sederhana logam berat Hg di daging tiram *Crassostrea iredalei* terhadap ekspresi *differential haemocyte count* (DHC) yakni hyalinosit dan granulosit tersaji pada gambar 16. Berdasarkan gambar 16 diperoleh nilai R determinasi ( $R^2$ ) pada grafik hyalinosit dan grafik granulosit sebesar 72%. Hal tersebut menjelaskan bahwa logam berat Hg (merkuri) yang terakumulasi di dalam daging tiram mampu mempengaruhi ekspresi DHC granulosit dan hyalinosit sebesar 72% dan 28% dipengaruhi oleh faktor lain. Sedangkan nilai r korelasi (r) logam berat Hg di daging tiram terhadap DHC granulosit dan hyalinosit diperoleh nilai sebesar 0,85. Berdasarkan Walpole (1995), nilai r korelasi sebesar 0,85 termasuk kedalam interval korelasi sangat kuat. Hal tersebut menjelaskan bahwa keberadaan logam berat Hg di dalam daging tiram terhadap ekspresi DHC memiliki hubungan yang sangat kuat.

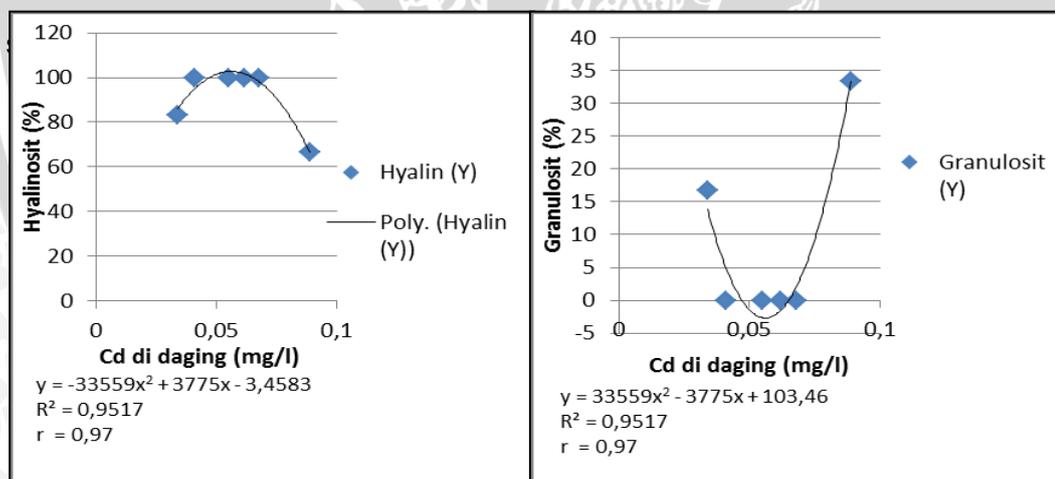


**Gambar 16.** Grafik eksponensial Hg di daging terhadap hemosit

Pola grafik granulosit pada gambar 16 menjelaskan bahwa bertambahnya logam berat Hg yang terakumulasi di dalam daging tiram akan meningkatkan ekspresi granulosit. Hal tersebut diduga bahwa sesuai dengan fungsi dari sel granulosit yang aktif dalam melakukan fagositosis karena memiliki butir-butir granul di sitoplasmanya sehingga sel granulosit yang telah mendapatkan sinyal dari hyalinosit akibat pengenalan material asing, akan aktif dalam produksi phenoloksidase untuk melakukan enkapsulasi dan fagositosis. Pada saat tertentu granulosit akan mengalami penurunan, hal tersebut diduga bahwa granulosit yang telah memproduksi phenoloksidase akan mengalami degranulasi dan melepaskan enzim hidrolitik untuk menghancurkan material asing. Sehingga granulosit akan mengalami penurunan dan terjadi melanisasi yakni penyembuhan dan kembali akan mengalami peningkatan. Manopo dan Magdalena (2014) menyatakan, enzim phenoloksidase (PO) terdapat dalam hemolim sebagai *inactive pro-enzyme* yang disebut proPO. Transformasi proPO menjadi PO melibatkan beberapa reaksi dikenal sebagai *proPO activating system* (sistem aktivasi proPO) dengan melibatkan enzim protease. Enzim phenoloksidase (PO) mengkatalis hidrosilasi monophenol dan oksidasi phenol menjadi quinones yang diperlukan untuk proses melanisasi sebagai respon terhadap penyerang asing dan selama proses penyembuhan. Hemosit juga berfungsi dalam formasi melanin pada fase akhir penyembuhan atau perbaikan luka. Quinone selanjutnya diubah melalui reaksi non-enzymatic menjadi melanin dan sering dideposit pada benda yang dienkapsulasi, dalam nodul hemosit dan pada daerah kulit yang terinfeksi jamur. Produksi *reactive oxygen species* seperti *superoxide anion* dan *hydroxyl radical* selama pembentukan quonoid juga memainkan peranan penting sebagai antimikroba. Reaksi fagositosis dan enkapsulasi juga diaktifkan. Menurut Gosling(2004), setelah melakukan fagositosis, benda asing akan dihancurkan oleh hemosit dengan mengeluarkan

enzim lisosom atau semacam lisin yang melepaskan *reactive oxygen species* (ROS) seperti superoxide, hidrogen peroksida, dan oksigen hidrogen radikal (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

Analisa hubungan logam berat Cd (cadmium) yang terakumulasi di dalam daging terhadap ekspresi *Differential Haemocyte Count* (DHC) hyalinosit dan granulosit tersaji pada gambar 17. Berdasarkan analisa statistik pada gambar 17 diperoleh nilai R determinan (R<sup>2</sup>) pada grafik hyalinosit dan grafik granulosit sebesar 0,95. Hal tersebut menjelaskan bahwa logam berat Cd (Cadmium) mampu mempengaruhi ekspresi DHC hyalinosit dan granulosit sebesar 95%, sedangkan sebanyak 5% ekspresi hemosit dipengaruhi oleh faktor lain. Nilai r korelasi (r) pada gambar 17, diperoleh pada grafik hyalinosit dan granulosit sebesar 0,97. Berdasarkan Walpole (1995), nilai korelasi sebesar 0,97, termasuk kedalam tingkat korelasi sangat kuat. Hal tersebut menjelaskan bahwa logam berat Cd yang terakumulasi di dalam daging tiram memiliki hubungan yang



**Gambar 17.** Grafik kuadratik hubungan Cd di daging terhadap hemosit

Sistem imun moluska mampu memerangi adanya bakteri, jamur, dan parasit. Sifatnya yang menetap dan kebiasaan makan dengan menyaring makanannya mengakibatkan bivalvia mengakumulasi lebih banyak bakteri dan polusi kimia. Sistem imun yang berperan pertama kali melakukan pertahanan

fisiologis yakni selaput mukosa, cangkang dan kultikula. Selanjutnya bivalvia akan melakukan pertahanan secara humoral dan selular yang saling berurutan. Respon selular dengan melakukan fagositosis dan reaksi sitotoksin dengan melepaskan enzim lisosom dan antimikroba peptida, serta *respiratory burst* dengan memproduksi oksigen metabolit, yaitu superoxide anion, dan hydrogen peroxide. Pertahanan dengan humoral meliputi hemolim yang mengandung lektin, enzim lisosom, dan antimikroba peptida. Material asing seperti logam berat, pestisida yang masuk ke dalam perairan dan terakumulasi ke dalam organisme perairan termasuk moluska akan dilakukan perlawanan dengan pengenalan oleh hemosit, selanjutnya lektin akan melakukan penempelan. Enzyme, peroksidase dan antimikroba peptida yang akan melakukan fagositosis, memproduksi ROS untuk mencegah kerusakan DNA, Lipoperioxidation, dan oksidasi protein. Pada beberapa penelitian telah dilaporkan bahwa kontaminasi CdCl<sub>2</sub> terhadap hemosit pada dosis sub-lethal sampai 15 ppm mampu menghambat produksi ROS (Perez, 2010).

Manopo dan Magdalena (2014) menambahkan, proses fagositosis dimulai dengan pelekatan partikel benda asing ke dalam sel fagosit. Sel fagosit kemudian membentuk vacuola pencernaan yang disebut fagosom. Lisosom (granula dalam sitoplasma fagosit) kemudian menyatu dengan fagosom membentuk fagolisosom. Mikroorganisme selanjutnya dihancurkan dan debris mikroba dikeluarkan dari dalam sel melalui proses *egestion*. Pemusnahan partikel mikroba yang difagosit melibatkan pelepasan enzim ke dalam fagosom dan produksi ROI (*reactive oxygen intermediate*) yang kini disebut *respiratory burst*. Pada material asing yang terlalu besar untuk fagositosis maka akan dienkapsulasi. Pada saat hemosit mengelilingi tubuh benda asing yang besar, bagian sel terluar dari hemosit tetap berbentuk oval atau bulat sedangkan bagian tengah sel menjadi datar dan pada fase berikutnya dilisis membentuk kapsul

tebal berwarna coklat dan keras. Kapsul tersebut tidak diserap kembali dan tetap sebagai tanda enkapsulasi meskipun sudah tidak ada hemosit yang dikenal disitu.

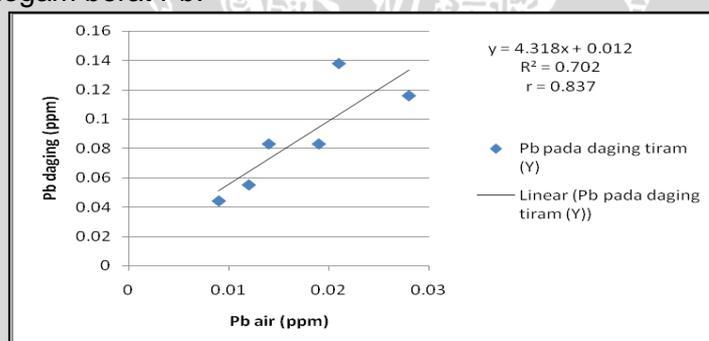
Hasil analisa regresi sederhana logam berat Pb, Hg, Cd di perairan terhadap ekspresi *Differential Haemocyte Count* (DHC) tiram *Crassostrea iredalei* dibandingkan dengan hasil analisa regresi sederhana logam berat Pb, Hg, Cd yang terakumulasi di daging tiram terhadap ekspresi *Differential Haemocyte Count* (DHC) tiram *Crassostrea iredalei* diperoleh lebih signifikan pada daging terhadap DHC. Hal tersebut dijelaskan pada nilai R determinan logam berat Pb, Hg, Cd di daging terhadap DHC sebesar 72 - 97% dibandingkan R determinasi hubungan logam berat Pb, Hg, Cd di perairan terhadap DHC sebesar 30- 98% dan nilai r korelasi hubungan logam berat Pb, Hg, Cd di daging terhadap DHC sebesar 0,85 – 0,98 dibandingkan nilai r korelasi (r) hubungan logam berat Pb, Hg, Cd di perairan terhadap DHC sebesar 0,54 - 0,98. Hal tersebut diduga bahwa logam berat Pb, Hg, Cd yang tersedia di alam lebih banyak dalam bentuk anorganik (ion) sehingga mudah ditangkap oleh materi organik seperti fitoplankton yang kemudian disaring oleh bivalvia, selain itu juga diduga bahwa logam berat Pb, Hg, Cd terikat pada bahan organik di dasar perairan.

#### **4.6 Analisis Hubungan Logam Berat dalam Air dan Daging Tiram**

Hasil analisa regresi korelasi logam berat Pb di perairan terhadap daging tiram *Crassostrea iredalei* menunjukkan grafik linier positif, yaitu semakin tingginya konsentrasi logam berat Pb dalam perairan maka logam berat yang terakumulasi dalam daging tiram juga semakin meningkat. Grafik dapat dilihat pada Gambar 18, dan diperoleh nilai r korelasi sebesar 0.837. Walpole (1995) menyatakan, tingkat korelasi sebesar 0.837 tersebut mengindikasikan bahwa logam berat Pb dalam perairan memiliki hubungan dan pengaruh yang sangat kuat terhadap akumulasi di dalam daging tiram *Crassostrea iredalei*, sedangkan

nilai tingkat determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0.7 menerangkan bahwa logam berat Pb di perairan dapat mempengaruhi akumulasi di dalam daging tiram sebanyak 70% dan sebanyak 30% oleh faktor lain.

Berdasarkan analisa regresi diperoleh logam berat Pb pada perairan memiliki hubungan yang sangat kuat dan signifikan positif terhadap daging tiram. Hal tersebut diduga karena Pb dalam bentuk logam bebas mampu menggantikan logam esensial yang ada di dalam tubuh tiram. Pb cenderung lebih mudah terakumulasi di dalam tubuh tiram dengan masuk melalui rantai makanan secara aktif dan absorpsi secara pasif. Palar (2012) menyatakan, bahwa pada jaringan dan/atau organ tubuh, logam Pb akan terakumulasi pada tulang, karena logam ini dalam bentuk ion ( $Pb^{2+}$ ) mampu menggantikan keberadaan ion  $Ca^{2+}$  (kalsium) yang terdapat dalam jaringan tulang. Selain itu di dalam lambung yang mengandung HCl (asam klorida) mempunyai kemampuan untuk menyerap keberadaan logam berat Pb.

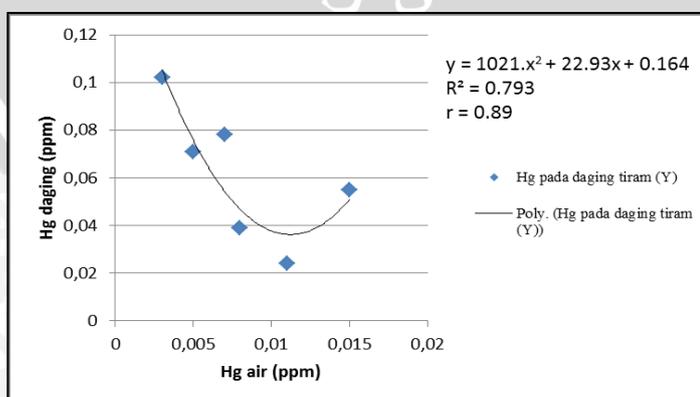


**Gambar 18.** Grafik linier Pb air terhadap Pb daging tiram

Kandungan logam berat dalam biota air biasanya akan bertambah dari waktu ke waktu karena bersifat *bioakumulatif*, sehingga biota air dapat digunakan sebagai indikator pencemaran logam dalam perairan. Logam-logam non esensial (termasuk timbal), kandungan dalam jaringan terus mengalami kenaikan sesuai dengan kenaikan konsentrasi logam dalam air lingkungannya, meskipun kadar logam berat dalam aliran sungai itu relatif kecil akan tetapi sangat mudah diserap dan terakumulasi secara biologis oleh tanaman atau hewan air dan akan terlibat

dalam sistem jaring makanan. Logam berat akan terkumpul dan meningkat kadarnya dalam tubuh organisme air yang hidup menyebabkan terjadinya proses bioakumulasi (Purnomo, 2007). Unsur logam berat yang terakumulasi mengakibatkan adanya interaksi antara logam berat dengan sel atau jaringan tubuh organisme. Sehingga kandungan logam berat dalam tubuh kerang akan lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan sekitarnya. Perbedaan kandungan logam Pb yang terakumulasi dapat disebabkan oleh pengaruh perbedaan substrat atau habitat kerang tersebut dan juga perbedaan umur kerang. Semakin tua umur kerang, akan memungkinkan semakin meningkatnya kandungan logam berat yang terakumulasi didalam tubuhnya (Jalaludin dan ambeng, 2005).

Analisa regresi korelasi kadar logam berat Hg di perairan terhadap kadar logam berat Hg pada daging tiram *Crassostrea iredalei* diperoleh hasil, bahwa keduanya memiliki hubungan dan memiliki korelasi yang sangat kuat. Hal tersebut disajikan pada Gambar 19 dan ditunjukkan nilai determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0.793 dan tingkat korelasi ( $r$ ) pada 0.89. Walpole (1995) menyatakan, tingkat korelasi sebesar 0.89 menunjukkan bahwa memiliki hubungan yang sangat kuat. Berdasarkan tingkat determinasi sebesar 0.793, maka logam berat Hg di perairan dapat mempengaruhi akumulasi pada tiram sebesar 79% dan 21% dipengaruhi oleh faktor lain.



**Gambar 19.** Grafik kuadratik Hg air terhadap Hg daging tiram

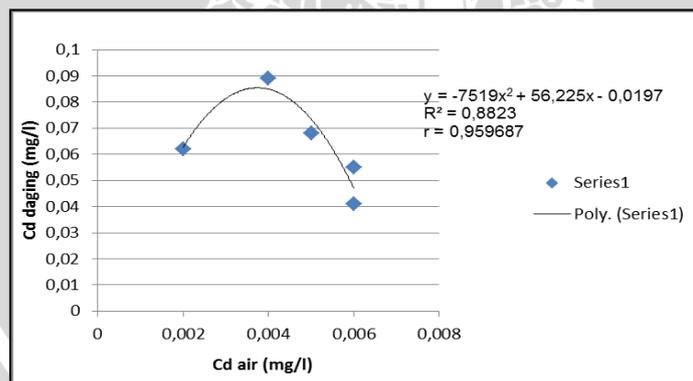
Grafik yang digambarkan pada Gambar 19, mengindikasikan bahwa tingginya konsentrasi logam berat Hg diperairan berbanding terbalik dengan konsentrasi logam berat Hg di dalam tubuh tiram, namun ketika Hg pada daging tiram mencapai titik minimum dan konsentrasi Hg masih terus mengalami peningkatan, maka Hg pada daging tiram akan mampu mengalami peningkatan kembali, hal tersebut diduga, bahwa tiram pada konsentrasi tertentu masih mampu mengakumulasi merkuri, namun jika terus mengalami konsentrasi yang meningkat, tiram tidak akan mampu lagi mengakumulasinya, sehingga tiram dapat mengalami keracunan dan kematian. Peningkatan akumulasi oleh tiram setelah penurunan diduga tiram telah mampu menseksresi merkuri sebagian kecil dan kemudian mampu untuk mengakumulasinya kembali. Kemampuan organisme dalam mendetoksifikasi logam berat diduga adanya paruh waktu logam berat yang terakumulasi di dalam tubuh organisme.

Palar (2012) menyatakan, waktu paruh dari senyawa merkuri dalam tubuh adalah 70 hari. Selanjutnya senyawa merkuri tersebut dikeluarkan dari dalam tubuh sebagai hasil samping metabolisme. Diperkirakan jumlah merkuri yang dikeluarkan sebagai hasil samping metabolisme tubuh hanyalah 1% dari total merkuri yang masuk, 99% merkuri yang masuk terakumulasi dalam organ bagian tubuh. Murtini *et al.*, (2008) melaporkan bahwa, perendaman selama 1 jam dengan menggunakan karboksimetil kitosan 0.5% terhadap kerang hijau (*Perna viridis*) yang terkontaminasi logam berat Hg dapat menurunkan konsentrasi Hg sebesar 82.54%.

Hasil analisis regresi korelasi logam berat Cd dalam perairan dengan Cd pada daging tiram yang tersaji pada Gambar 20, diperoleh hasil bahwa keduanya memiliki hubungan dan korelasi yang sangat kuat, hal tersebut dapat diketahui dengan melihat nilai korelasi ( $r$ ) sebesar 0.959, R determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0.88, hal tersebut mengindikasikan bahwa Cd di perairan mampu mempengaruhi

akumulasi pada daging tiram sebanyak 88% sedangkan sebanyak 12% dipengaruhi oleh faktor lain. Wapole (1995) menyatakan, nilai korelasi ( $r$ ) sebesar 0.958 menunjukkan logam berat Cd di perairan memiliki hubungan yang sangat kuat terhadap akumulasi di dalam daging tiram.

Grafik hubungan logam berat Cd pada perairan terhadap Cd pada daging tiram *Crassostrea iredalei* (Gambar 20) menunjukkan grafik yang tidak berbanding lurus yakni semakin bertambahnya logam berat Cd pada perairan maka kadar logam berat Cd pada daging tiram akan meningkat dan mencapai pada titik maksimum kemudian mengalami penurunan, hal tersebut diduga bahwa pada konsentrasi tertentu Cd dapat diakumulasi oleh tiram namun semakin bertambahnya Cd yang terakumulasi mengakibatkan tiram tidak mampu lagi mentolerir sehingga mengalami penurunan. Palar (2012) menyatakan, logam berat Cd mampu terakumulasi hampir 100% melalui makanan pada invertebrata herbivora pemakan sampah atau kotoran, selain itu logam berat Cd mampu mengikat gugus S (sulfur) dan karboksi ( $-\text{COOH}$ ) dari molekul protein sehingga mampu menggantikan keberadaan logam esensial di dalam tubuh tiram.



**Gambar 20.** Grafik kubik Cd air terhadap Cd daging tiram

Sarjono (2009) melaporkan, sifat racun Cd terhadap ikan yang hidup dalam air laut berkisar antara 10-100 kali lebih rendah daripada di dalam air tawar yang memiliki pH lebih rendah. Hutagalung (1991) dalam Arisandy *et al.*, (2012), menambahkan bahwa penurunan salinitas dan pH serta naiknya suhu

menyebabkan tingkat bioakumulasi semakin besar karena ketersediaan logam berat tersebut juga semakin meningkat. Leckie dan Jams (1974) menyatakan bahwa kelarutan dari unsur-unsur logam dan logam berat dalam badan perairan dikontrol oleh pH badan air, jenis dan konsentrasi logam. Wagner (2002) dalam Rumahlatu (2011), menambahkan kekuatan gelombang dapat mempengaruhi gerakan air laut dan perpindahannya. Hal ini berarti bahwa kadar logam berat Cd pada perairan dapat mengalami proses *upwelling* sehingga kadar logam berat Cd pada air laut yang terakumulasi pada biota menggambarkan pola yang tidak signifikan.

Sebagai perbandingan logam berat Cd di dalam perairan memberikan sumbangan yang berarti terhadap meningkatnya atau menurunnya kadar logam berat Cd pada bagian tubuh bulu babi. Dengan demikian perairan sangat representative untuk menggambarkan akumulasi Cd pada bagian tubuh. Keberadaan Cd pada tubuh organisme didapat melalui proses penyerapan dari rantai makanan. Logam berat yang masuk kedalam perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan *disperse* kemudian diserap oleh organisme di perairan tersebut. Konsentrasi logam berat Cd pada bagian tubuh kerang bervariasi, dan terjadi peningkatan berturut-turut pada dinding sistem pencernaan, gonad, dan cairan coelom dan berhubungan dengan unsure-unsur dari air dan makanan. Akumulasi logam berat Cd terjadi relatif cepat dibanding Pb dan Zn. Logam berat Cd umumnya terakumulasi di dalam organ ginjal, insang, otot, testis dan ovarium (Rumahlatu, 2011).

#### 4.7 Analisa Kualitas Air

Aktivitas antropogenik dan kegiatan industri yang menggunakan lahan di tepi perairan secara langsung maupun tidak langsung diketahui memberikan dampak negatif terhadap kualitas air sungai seperti faktor fisika-kimia yang

selanjutnya mengakibatkan rusaknya ekosistem perairan dan berdampak terhadap kehidupan biota air seperti perubahan struktur komunitas makrobenthos dimana penurunan kelimpahan dan komposisi dari organisme tersebut merupakan indikator adanya gangguan ekologi perairan (Setiawan, 2010).

Parameter penunjang yang dibutuhkan dan dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat di dalam perairan serta daging tiram yang nantinya berpengaruh terhadap aktivitas hemosit, baik secara fisika maupun kimia. Kualitas air yang dapat berpengaruh terhadap kehidupan tiram diantaranya yaitu suhu, salinitas, pH, bahan organik, dan oksigen terlarut. Baku mutu menurut KEPMENLH No 51 tahun 2004 untuk kehidupan organisme akuatik. Hasil pengukuran kualitas air di 2 stasiun dan 6 titik seperti terlihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Kisaran nilai hasil pengukuran kualitas air

Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu Perairan
Suhu (°)	30 - 37	0 – 40 (Supriyadi, 2002)
Ph	8-9	7 - 8.5 (KEPMENLH, 2004)
DO (mg/l)	5.5-16.9	≥5 (KEPMENLH, 2004)
Salinitas (‰)	30-36‰	33-34 (KEPMENLH, 2004)
TOM (mg/l)	27.61-55.62	Komala <i>et al.</i> ,(2011)

Pola sebaran biota yang mengelompok disebabkan hewan tersebut memilih hidup pada habitat yang paling sesuai bagi kelangsungan hidupnya, baik sesuai dengan faktor fisika-kimia perairan maupun tersedianya makanan. Faktor fisika dan kimia yang merata pada suatu habitat serta tersedianya makanan bagi hewan yang hidup didalamnya sangat menentukan hewan tersebut hidup berkemlompok (Prasojo, 2012).

#### 4.7.1 Suhu

Pengukuran suhu air laut dilakukan pada saat siang hari pukul 11.30 WIB yakni saat surut terendah. Lokasi pengukuran suhu tidak terdapat vegetasi yang menaungi perairan dan diperoleh hasil kisaran suhu sebesar 30 - 37 °C. Hal

tersebut menunjukkan bahwa suhu di perairan Pantai Dalegan dan Ujungpangkah masih sesuai dengan kehidupan organisme perairan laut. Sesuai dengan Supriadi (2002) menyatakan bahwa proses kehidupan yang vital yang biasa disebut metabolisme hanya berfungsi dalam kisaran suhu tertentu biasanya ( $0^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ ). Suhu mempengaruhi baik aktivitas metabolisme, proses fisiologis dan faktor reproduksi. Faisal (2001) dalam Siregar *et al.*, (2014) menambahkan bahwa kebanyakan organisme laut termasuk bivalvia dan gastropoda telah mengalami adaptasi untuk hidup dan berkembangbiak pada kisaran suhu sampai  $40^{\circ}\text{C}$ .

Peningkatan suhu dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti laju evaporasi dan padatnya aktivitas antropogenik di sekitar perairan yang mampu memberikan tekanan pada lingkungan. Andrew (2014) menyatakan, suhu merupakan parameter perairan yang sangat penting karena mempengaruhi sifat fisika kimia perairan. Faktor yang mempengaruhi tingkat akumulasi logam berat adalah kondisi lingkungan perairan seperti suhu, pH dan salinitas. Hutagalung (1991) dalam Arisandy *et al.*, (2012) menyatakan bahwa penurunan salinitas dan pH serta naiknya suhu menyebabkan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar karena ketersediaan logam berat tersebut semakin meningkat.

#### **4.7.2 Derajat Keasaman**

Derajat keasaman atau pH memegang kontrol terhadap kelarutan dan konsentrasi logam dalam perairan. Kondisi pH yang rendah, akan mengakibatkan logam berat cenderung terlarutkan (Wulandari *et al.* 2009). Hasil pengukuran derajat keasaman di 2 stasiun diperoleh nilai pH berkisar antara 8 - 9, hal tersebut menunjukkan bahwa pH perairan gresik masih sesuai dengan baku mutu air untuk kelangsungan hidup biota perairan. Organisme perairan mempunyai kemampuan berbeda dalam mentoleransi pH perairan. Kematian

lebih sering diakibatkan karena pH yang rendah daripada pH yang tinggi (Prescod, 1973 *dalam* Wijayanti, 2007). Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH sekitar 7 - 8,5 (Effendi, 2003). Leckie dan Jams (1974) *dalam* Palar (2012), menyatakan bahwa kelarutan dari unsur – unsur logam dan logam berat dalam badan perairan dikontrol oleh, pH badan air, jenis dan konsentrasi logam dan khelat, dan keadaan komponen mineral teroksidasi dan system yang berlingkungan redoks. Kenaikan pH pada badan perairan akan menyebabkan semakin kecilnya kelarutan dari senyawa-senyawa logam tersebut. Darmono (2008) *dalam* Prihatini dan Ade (2013) menambahkan, faktor – faktor perairan yang mempengaruhi toksisitas logam berat, antara lain suhu, salinitas, pH, dan oksigen terlarut (DO). Penurunan pH dan salinitas, serta peningkatan suhu di perairan akan meningkatkan toksisitas logam berat, sebaliknya kandungan oksigen terlarut (DO) tinggi dapat mengurangi toksisitas logam berat.

#### 4.7.3 Salinitas

Salinitas memiliki peranan yang sangat penting terhadap biota laut khususnya bivalvia dan terhadap hemositnya. Telah dilakukan berbagai penelitian tentang pengaruh salinitas terhadap hemosit tiram, karena diketahui akan berpengaruh terhadap osmoregulasi tiram. Hasil pengukuran salinitas pada penelitian ini diperoleh kisaran nilai sebesar 30 - 36‰, yang mana masih sesuai dengan baku mutu perairan yang disarankan untuk kehidupan biota. Sebelum dan pada saat pengamatan salinitas, tidak terjadi hujan, cuaca dalam keadaan cerah cenderung panas pada kedua stasiun, diduga laju evaporasi juga semakin tinggi sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi besarnya nilai salinitas. Prasojo *et, al.* (2012) melaporkan bahwa, ditemukan toleransi *Anadara sp.* terhadap salinitas lebih tinggi yaitu 26 - 33.8‰, perubahan salinitas dapat cepat terjadi

akibat adanya pasang dan surut, curah hujan, maupun kiriman debit air sungai, dan penguapan. Wulandari *et al.*(2009) menyatakan, salinitas perairan berkaitan dengan suhu perairan dalam menentukan tingkat bioakumulasi akan meningkat, karena pada salinitas tinggi menyebabkan konsentrasi logam berat berkurang. Partikel organik akan membentuk gumpalan sehingga akan mempercepat pengendapan logam berat dan memperlambat proses bioakumulasi pada organisme.

#### 4.7.4 Oksigen Terlarut

Oksigen terlarut merupakan variabel kimia yang mempunyai peranan penting bagi kehidupan biota air sekaligus menjadi faktor pembatas bagi kehidupan biota. Penurunan daya larut oksigen dapat disebabkan oleh naiknya suhu air dan meningkatnya salinitas. Konsentrasi oksigen dipengaruhi oleh proses respirasi biota air dan proses dekomposisi bahan organik oleh mikroba. Pengaruh ekologi lain yang menyebabkan konsentrasi oksigen terlarut menurun adalah penambahan zat organik (bahan organik) (Wijayanti, 2007). Nasution (2009), menyatakan bahwa kadar oksigen terlarut minimum 3.0 ppm sudah cukup mendukung kehidupan organisme perairan secara normal asalkan tidak terdapat senyawa beracun di perairan tersebut. Hasil pengukuran oksigen terlarut pada perairan di dua stasiun diperoleh hasil yaitu antara 5.5-16.9 mg/liter hal tersebut menunjukkan bahwa oksigen terlarut dalam perairan Pantai Gresik masih layak untuk kebutuhan organisme perairan, sesuai dengan baku mutu oksigen terlarut untuk organisme perairan yang ditetapkan oleh KEPMENLH yakni  $\geq 5.5$  mg/liter. Mazidah *et al.*,(2013) menyatakan suhu mempunyai pengaruh besar terhadap kelarutan oksigen, jika suhu naik maka oksigen di dalam air akan menurun. Simanjuntak, (2012), menambahkan sumber utama oksigen dalam air laut adalah udara melalui proses difusi dan dari proses

fotosintesis fitoplankton. Kadar oksigen terlarut semakin menurun seiring dengan semakin meningkatnya limbah organik di perairan.

#### 4.7.5 Total Bahan Organik

Pengukuran bahan organik dalam perairan diperoleh nilai berkisar antara 27.61-55.62 mg/l, Komala *et al.*,(2011) menyatakan bahwa, parameter total bahan organik yang masih dalam kisaran normal untuk kehidupan kerang yakni berkisar antara 38.85 – 78.44 mg/l, sehingga bisa dinyatakan bahan organik yang terkandung di perairan Ujungpangkah dan Dalegan masih pada kisaran layak untuk biota perairan terutama tiram. Bahan organik dalam suatu perairan dapat menarik beberapa organisme untuk mencari makan di perairan tersebut, terutama organisme *filter feeder* seperti bivalvia. Nasution (2009), menyatakan bahwa sebagian besar bahan organik laut berasal dari daratan masuk ke laut mealui proses mineralisasi dan mengendap di dasar pantai. Bahan organik biasanya lebih banyak terdapat di perairan dangkal dan muara sungai dibandingkan dengan laut dalam karena kandungan karbon akan berkurang secara vertikal akibat menurunnya produksi primer oleh proses mineralisasi di kolom air sebagai akibat dari aktivitas organisme dasar laut. Adanya pergerakan massa gravitasi maka dapat mengangkat sedimen yang kaya akan bahan organik dari dasar perairan pantai dan muara. Cole (1983) *dalam* Prasojo *et al.*, (2012) menyatakan bahwa bahan organik yang terlarut dalam perairan merupakan sumber nutrisi utama bagi hewan benthos, sehingga minim atau maksimumnya bahan organik dalam suatu perairan merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kehadiran hewan benthos diantaranya adalah dari kelompok bivalvia.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

- ❖ Kandungan logam berat di Perairan Dalegan dan Ujungpangkah Pb 0.013 - 0.021 mg/l, Hg 0.011 - 0.005 mg/l, dan Cd 0.004 - 0.005 mg/l. Kandungan logam berat di daging tiram *Crassostrea iredalei* Pb 0.067 - 0.112 mg/l, Hg 0.039 - 0.083 mg/l, dan Cd 0.046 - 0.077 mg/l. Hubungan logam berat (Pb, Hg, Cd) di perairan mempengaruhi kadar logam berat (Pb, Hg, Cd) di daging tiram sebesar 70% - 88% dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0.84 – 0.95
- ❖ *Differential Haemocyte Count* (DHC) *Crassostrea iredalei*, granulosit 16.67% - 33.33% dan hyalinosit 67% - 100%. Hubungan logam berat (Pb, Hg, Cd) di perairan mempengaruhi hemosit (*Differential Haemocyte Count*) tiram *Crassostrea iredalei* sebesar 30% - 98% dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0.54 – 0.98 dan hubungan logam berat Pb, Hg, Cd di daging tiram mempengaruhi DHC sebesar 72 – 97% dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,85 – 0,98.

### 5.2 Saran

Hubungan pengaruh logam berat Pb, Hg, Cd di daging tiram *Crassostrea iredalei* terhadap ekspresi DHC yang lebih signifikan daripada logam berat Pb, Hg, Cd di perairan terhadap DHC sehingga disarankan kepada masyarakat pesisir Kabupaten Gresik untuk tidak mengonsumsi tiram.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adriyani, R dan T. Mahmudiono. 2009. **Kadar Logam Berat Cadmium, Protein Dan Organoleptik Pada Daging Bivalvia dan Perendaman Larutan Asam Cuka**. *J. Penelit. Med. Eksata*. VIII(2): 152-161.
- Agustina, T. 2010. **Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan Dan Dampaknya Pada Kesehatan**. *Teknubuga*.II(2).
- Alifuddin, M. 2002. **Imunostimulasi Pada Hewan Akuatik**. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. I(2): 87-92.
- Aladaileh, S., S. V. Nair., D. Birch., D. A. Raftos. 2007. **Sydney rock oyster (*Saccrostrea glomerata*) hemocytes: Morphology and function**. *Journal of Invertebrate Pathology*. 96:48-63.
- Alfian, Z. 2006. **Merkuri: Antara Manfaat Dan Efek Penggunaanya Bagi Kesehatan Manusia Dan Lingkungan**. *Artikel Ilmiah*. USU Respository.
- Amoroso. M. J., C. S. Benimeli., and S. A. Cuozzo. 2013. **ACTINOBACTERIA Application in Bioremediation and Production of Industrial Enzymes**. CRC Press. France.
- Andrew., Y. I. Siregar., dan Efriyadi. 2014. **Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Zn Pada Daging Dan Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Tanjung Balai Asahan**. I(2).
- Arfiati, D. 2003. **Biologi Tiram**. Program Pasca Sarjana Universitas Brawijaya. Malang. Tidak Diterbitkan.
- Arfiati, D., Nuriyani. 2014. **Survey Kadar Hg Cd dan Pb pada Bivalvia di Pesisir Jawa Timur**. Penelitian Tahunan BOPTN Tahun Anggaran 2014. LPPM UB: *Tidak Diterbitkan*.
- Arisandy, K. R., E. Y. Herawati., dan E. Suprayitno. 2012. **Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Gambaran Histologi pada Jaringan *Avicenia marina* (forsk.) Vierh di Perairan Pantai Jawa Timur**. *J. Penelitian Perikanan*. I(1): 15-25.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur. 2014. **Jawa Timur Dalam Angka 2013**. *Website*. <http://gresikkab.go.id/>. Diunduh pada tanggal 15 Oktober 2014 pukul 15.00 Wib.
- Barus, T., A. 2002. **Pengantar Limnologi**. Medan
- Beatrice, G., S. Patrick., F. Nicole., K. Nolwen., L. Moine., Oliver., and R. Tristan. 2007. **Analysis of hemocyte parameters in pacific oysters, *Crassostrea gigas*, reared in the field-Comparison of hatchery diloids and diploids from natural beds**. *Aquaculture*. CCLXIV(1-4):449-456.

- Cappenberg, H.A.W. 2008. **Beberapa Aspek Biologi Kerang Hijau *Perna Viridis* Linnaeus 1758**. *Oseana*. XXXIII(1):33-40.
- Cherkasov, A. S., S. Grewal., and I. M. Soklova. 2007. **Combined effects of temperature and cadmium exposure on haemocyte apoptosis and cadmium accumulation in the eastern oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin)**. *Journal of Thermal Biology*. XXXII(2007): 162-170.
- Choi, Y. K., P.G Jo., and C.Y. Choi. 2008. **Cadmium Affects the Expression of Heat Shock Protein 90 and Metallothionein mRNA in the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas***. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 147: 286-292.
- Choi, H. J., J. Y. Hwang., D. L. Choi., M. D. Huh., Y. B. Hur., N. S. Lee., J. S. Seo., M. G. Kwon., H. S. Choi., and M. A. Park. 2011. **Non-specific Defensive Factors of the Pacific Oyster *Crassostrea gigas* against Infection with *Marteilioides chungmuensis*: A Flow-Cytometric Study**. *Korean J Parasitol*. XLIX(3): 229-234.
- Dang. C., T. Tan., D. Moffit., J. D. Deboutteville., and A. C. Barnes. 2012. **Gender Differences in Hemocyte Immune Parameters of Bivalves: The Sydney Rock Oyster *Saccostrea glomerata* and Pearl Oyster *Pinctada fucata***. *Fish & Shellfish Immunology*. 33(138-142).
- Dewi, A (1999) **Jenis-Jenis Rhodophyceae Zona Intertidal Di Pantai Kukup Yogyakarta**. S1 thesis, UAJY.
- Devakie, M. N and A. B. Ali. 2000. **Effects of storage temperature and duration on the setting and post-set spat survival of the tropical oyster, *Crassostrea iredalei* (Faustino)**. *Aquaculture*. 190: 369-376.
- Diederich, S. 2006. **High survival and growth rates of introduced pacific oysters may cause restrictions on habitat use by native mussels in the Wadden Sea**. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 328(2): 211-227.
- Effendi H. 2003. **Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya Lingkungan Perairan**. Kanisius. Yogyakarta.
- Ekawati, A. W., H. Nursyam., E. Widjayanto., dan Marsoedi. 2012. **Diatomae Chaetoceros ceratosporum dalam Formula Pakan Meningkatkan Respon Imun Seluler Udang Windu (*Panaeus monodon* Fab.)**. *J.Exp. Life Sci*. II(1).
- Food and Agriculture Organization Of The United Nations. 1998. **The Living Marine Resources Of The Western Central Pacific Volume 1 Seaweed, Corals, Bivalves and Gastropods**. Rome.

- Gagnaire, B., H. Frouin., K. Moreau., H. Thomas. G., and T. Renault. 2006. **Effects of temperature and salinity on haemocyte activities of the pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg)**. XX(4): 536-547.
- Galtsoff, P. S. 1964. **The American Oyster *Crassostrea virginica* Gmelin**. United States Government Printing Office. Washington.
- Galloway, T. S and M. H. Depledge. 2001. **Immunotoxicity in Invertebrates: Measurement and Ecotoxicological Relevance**. *Ecotoxicology*. X(2001): 5-23.
- Hamzah, M. S. 2013. **Intensitas Cahaya Lampu Pijar Terhadap Perkembangan Embriogenesis Dan Kelangsungan Hidup Larva Kerang Mutiara (*Pinctada maxima*)**. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. V(2): 391-400.
- Handajani, H. 2011. **Kandungan Logam Berat Pada Contoh Air Dan Ikan Budidaya Di Perairan Situbondo**. *GAMMA*. VI(2):95-100.
- Hariyadi, S., I. N. Supriyadiputra., dan B.Widigodo. 1992. **Limnologi**. Institut Pertanian Bogor. Fakultas Perikanan.
- Harijanto. 2013. **Kemampuan Proteksi Immunostimulan dari Protein Membran Immunogenik Zoothamnium penaei Terhadap Zoothamniosis pada Udang Vanamei (*Litopenaeus vanamei*)**. *Thesis*. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Hegaret. H, G.H. Wikfors, and P. Soudant. 2003. **Flow Cytometric analysis of haemocytes from eastern oysters, *Crassostrea virginica*, subjected to a sudden temperature elevation: II. Haemocyte functions: aggregation, viability, phagocytosis, respiratory burst**. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. CCXCIII(2): 249-265.
- Hendri, K. 2012. **Analisis Respon Imun Seluler Hemolymph Kljing Taiwan (*Anodonta woodiana* Lea.) Terhadap Pestisida Karbaril Pada Uji Toksisitas (LD50-48h) Dengan Dosis Yang Berbeda Secara In Vivo**. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya. Malang.
- Ittoop, G., K. C. George., R. M. George., K. S. Sobhana., N. K. Sanil., and P. C. Nisha. 2007. **Inflammatory reactions of the Indian edible oyster, *Crassostrea madrasensis* (Preston) and its modulations on exposure to Nuvan and Copper**. *J. Mar. Biol. Ass. India*. XLVIX(2): 148-153.
- Jalaluddin, M. N dan Ambeng. 2005. **Analisi Logam Berat (Pb, Cd, dan Cr) Pada Kerang Laut (*Hiatula chinensis*, *Anadara granosa*, dan *Marcia optima*)**. *Marina Chimica Acta*. VI(2): 17-20.

Jupriyanti, R., N. Soenardjo., dan C. A. Suryono. 2013. **Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Pengaruhnya Terhadap Histologi Akar Mangrove *Avicennia marina* (Forssk). Vierh. Di Perairan Mangunharjo Semarang. *Journal of Marine Research*. III(1):61-68.**

Jasmidi. (1998). **Pengaruh pH Awal Larutan terhadap Biosorpsi Timbal dan Seng oleh Biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. *Prosiding Semnas Kimia III*. Yogyakarta: Jur. Kimia FMIPA UGM.**

Kadir. H., M. F. Samawi., dan A. Haris. 2013. **Akumulasi Logam Berat Pb Pada Rangka dan Polip Karang Lunak *Sinularia polydactyla*. *Torani*. XXIII(1):1-7.**

Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51. 2014. **Baku Mutu Air Laut Untuk Biota Laut**. Jakarta

Kusumah, Y. I. 2012. **Pengaruh Supervisi Klinis Oleh Kepala Sekolah Terhadap Kinerja Mengajar Guru Di SMA Al-Ma'some Jatinangor**. Skripsi. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.

Komala, R., F. Yulianda., D. T. F. Lumbanbatu., dan I. Setyobudiandi. 2011. **Indeks Kondisi Kerang Darah (*Anadara granosa*) Sebagai Indikator Kualitas Lingkungan Di Teluk Lada Perairan Selat Sunda. *BIOMA*. IX(2).**

Kok, K.H., M.I.A. Karim, A.B. Ariff, and S. Abd-Aziz. (2002). **Application of Live and Non-Metabolizing Cells of *Aspergillus flavus* strain 44-1 As Biosorbent for Removal of Lead From Solution. *Pakistan Journal of Biological Sci*. 5(3): 332-334.**

Latara, S., R. Utina dan W. D. Uno. 2013. **Identifikasi Fitoplankton di Perairan Danau Perintis Kabupaten Bone Bolango. *KIM FMIPA*. I(1).**

Leviton, J, S. 1982. **Marine Ecology** : Prentice Hall. Inc. America. P. 235-269.

Luo, L., C. Ke., X. Guo., B. Shi., and M. Huang. 2014. **Metal accumulation and Differentially Expressed Protein in Gill of Oyster (*Crassostrea hongkongensis*) Exposed to Long-Term Heavy Metal-Contaminated Estuary. *Fish and Shellfish Immunology*. XXXVIII(2014): 318-329.**

Makkasau, A., M. Sjahrul., M. N. Jalaluddin., dan I. Raya. 2011. **Teknik Fitoremediasi Firoplankton Suatu Alternatif Pemulihan Lingkungan Laut Yang Tercemar Ion Logam Berat  $Cd^{2+}$  Dan  $Cr^{6+}$ . VII(2): 155-168.**

Mann, R., J. M. Harding, dan M. Southworth. 2009. **Reconstructing precolonial oyster demographics in the Chesapeake Bay, USA. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 85 (1) :217–222.**

Manopo, H., dan M. E. F. Kolopita. 2014. **Respon Imun Krustase. *Budidaya Perairan*. II(2): 22-26.**

- Mazidah, R., A. Mulyadi., dan S. Nasution. 2013. **Tingkat Pencemaran Perairan Danau Buatan Pekanbaru Ditinjau Dari Parameter Fisika, Kimia, Dan Biologi**. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup. Universitas Riau.
- Mubin, H. 2014. **Metallothionein (MT) Sebagai Biomarker Kadar Logam Berat Hg, Cd, dan Pb Pada Tiram *Crassostrea iredalei* Di Perairan Utara Kabupaten Gresik Jawa Timur**. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya.
- Mulyanto. 2008. **Metode Sampling**. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya. Malang.
- Murtini, J.T., A. D. Kurniawan., dan E. N. Dewi. 2008. **Pengaruh Waktu Perendaman dan Kosentrasi Karboksimetil Kitosan Untuk Menurunkan Kandungan Logam Berat Hg, Cd, dan Pb Pada Kerang Hijau (*Perna viridis* Linn.)**. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. III(1): 37-44.
- Nasution, R. 2003. **Teknik Sampling**. USU *digital library*. Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Sumatera Utara.
- Nasution, S. 2009. **Biomassa Kerang *Anadara granosa* pada Perairan Pantai Kabupaten Indragiri Hilir**. *Jurnal Natur Indonesia*. XII(1):61-66.
- Nasution, S dan M. Siska. 2011. **Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Sedimen dan Siput *Strombus canarium* Di Perairan Pantai Pulau Bintan**. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. V(2): 82-93.
- Na'fan, W. 2009. **Immunomodulation of Rock Oyster (*Saccostrea cucullata*) Hemocytes in Relation to Aerial Exposure and Salinity Stress**. *Thesis*. Universitas Burapha. Thailand.
- Nontji. 2002. **Laut Nusantara**. Cetakan Ketiga. Djambatan : Jakarta Nasution
- Notoatmojo. S. 2005. **Metodologi Penelitian Kesehatan**. Rineka Cipta: Jakarta.
- Nurfakih. A, C.A.Suryono, dan Sunaryo. 2013. **Studi Kandungan Bahan Organik Sedimen Terhadap Kelimpahan Bivalvia Di Perairan Semarang Bagian Timur**. *Journal Of Marine Research*. II(3):173-180.
- Octavina, C. 2014. **Aspek Pemnafaatan Sumberdaya Tiram Daging (Ostreidae) Sebagai Upaya Pengelolaan Berbasis Struktur Populasi Di Kuala Gigieng, Aceh Besar**. *Thesis*. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Octavina, C., F. Yulianda, dan M. Krisanti. 2014. **Struktur komunitas daging tiram di perairan estuaria Kuala Gigieng, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh (Population structure of oysters in estuary area of Kuala Gigieng, Aceh Besar District, Aceh Province)**. *Depik*, III(2) : 108-117.

- Onrizal, 2005. **Restorasi Lahan Terkontaminasi Logam Berat**, Jurusan Kelautan. Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara.
- Palar, H. 2012. **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat**. Rineka Cipta. Jakarta.
- Panggabean. L.M.G. 1991. **Rahasia Kehidupan Kima**. *Oseana*. XVI(1):35-44.
- PDTI Pemda Gresik. 2015. Profil Geografi.
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor HK.00.06.1.52.4011. **Penetapan Batas Maksimum Cemaran Mikroba Dan Kimia Dalam Makanan**. 2009. Jakarta.
- Perez, M. G. 2010. **Relationships Between Innate Immunity in Bivalve Molluscs and Environmental Pollution**. *ISJ*. 7:149-156.
- Purba, C., A. Ridlo., dan J. Suprijanto. 2014. **Kandungan Logam Berat Cd Pada Air, Sedimen dan Daging Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Tanjung Mas Semarang Utara**. *Journal of Marine Research*. III(3): 285-293.
- Purmawati, Z. A. 2011. **Studi Tentang Sistem Pengelolaan Lingkungan Pada Pembesaran Induk Ikan Kerapu Kertang (*Epinephelus lanceolatus*) Di Balai Budidaya Air Payau (BBAP) Situbondo Jawa Timur**. Universitas Brawijaya: Malang.
- Purnomo. T, dan Muchyiddin. 2007. **Analisa Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) di Tambak Kecamatan Gresik**. *Neptunus*. XIV(1):68-77.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Laut dan Peisir Kementrian Kelautan dan Perikanan. 2014. *Website*. <http://www.p3sdlp.litbang.kkp.go.id/>. Diakses pada 1 November 2014 Pukul 10.00 WIB.
- Putranto. T. T. 2011. **Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Air Tanah**. *TEKNK*. XXXII(1).
- Putri, L. dan Aunurohim. A. 2013. **Kecepatan Filtrasi Kerang Hijau *Perna Viridis* terhadap *chaetoceros* sp dalam Media Logam Tercemar Kadmium**. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*. II(2): 2337-3520.
- Prasetyo, A. D. 2009. **Penentuan Kandungan Logam (Hg, Pb, Cd) Dengan Penambahan Bahan Pengawet Dan Waktu Perendaman Yang Berbeda Pada Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) Di Perairan Muara Kamal, Teluk Jakarta**. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Syarif Hiayatullah. Jakarta.
- Prasojo, S. A., Irwani., dan C. A. Suryono. 2012. **Distribusi dan Kelas Ukuran Panjang Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Pesisir**

**Kecamatan Genuk, Kota Semarang.** *Journal of Marine Research* . I(1):137-145.

Prihartini, W dan A. H. Mulyati. 2013. **Depurasi Merkuri Dengan Ozonasi Pada *Anadara antiquate* dalam Upaya Keamanan Bahan Pangan.** *Prosiding Seminar Nasional Matematika, Sains, dan Teknologi*. IV: E.9-E.18.

Rahman, A. 2011. **Distribusi Oksigen Terlarut Pada Lapisan Hipolimnion Pasca Aerasi Di Danau Lido, Bogor, Jawa Barat.** *Skripsi*. Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Rinaldo, E. 2012. **Heat Shock Protein.** *Artikel ilmiah*. [www.scribd.com/doc/91179465/Heat-Shock-Protein#Scribd](http://www.scribd.com/doc/91179465/Heat-Shock-Protein#Scribd). Diakses pada tanggal 16 April 2015 pukul 11.00 WIB.

Rudianto. 2014. **Aanalisis Restorasi Ekosistem Wilayah Pesisir Terpadu Berbasis *Co-Management*: Studi Kasus di Kecamatan Ujungpangkah dan Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik.** *Research Journal of Life Science*. I(1): 54-67.

Rumahlatu, D. 2011. **Konsentrasi Logam Berat Kadmium Pada Air, Sedimen dan *Deadema setosum* (Echinodermata, Echinoidea) di Perairan Pulau Ambon.** *Ilmu Kelautan*. XVI(2): 78-85.

Rovita, G. D., P. Wahyu Purnomo., dan P. Soedarsono. 2012. **Stratifikasi Vertikal  $\text{NO}_3^-$  N dan  $\text{PO}_4^-$  P Pada Perairan di Sekitar Eceng Gondok (*Eichornia crassipes Solms*) Dengan Latar Belakang Penggunaan Lahan Berbeda Di Rawa Pening.** *Journal Of Management Of Aquatic Resources*. I(1):1-7.

Sarjono, A. 2009. **Anlisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb, dan Hg Pada Air dan Sedimen di Perairan Kamal Muara, Jakarta Utara.** *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor.

Saroeng, M. A., dan Razali. 2013. **Struktur Morfologi Gonad Jantan *Geloina erosa* Pada Berbagai Ukuran Cangkang Di Kawasan Ekosistem Mangrove Sungai Reuleng Lepung Kabupaten Aceh Besar.** *Jurnal Kedokteran Hewan*. VII(2): 105-108.

Setiawan,D. 2010. **Studi Komunitas Makrozoobenthos di Perairan Sungai Musi Sekitar Kawasan Industri Bagian Hilir Kota Palembang.** *Prosiding Seminar Nasional Limnologi*. V: 217-228.

Setiawan, A., B. Yulianto., dan D. P. Wijayanti. 2013. **Pengaruh Depurasi Terhadap Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dalam Jaringan Lunak Kerang Darah (*Anadara granosa*).** *Journal Of Marine Research*. II(4):23-30.

- Setyono, D. E. D. 2006. **Karakteristik Biologi Dan Produk Kekeangan Laut. Oseana.** XXXI(1):1-7.
- Simanjuntak, M. 2012. **Kualitas Air Laut Ditinjau Dari Aspek Zat Hara, Oksigen Terlarut dan pH Di Peraira Banggai, Sulawesi Selatan.** *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis.* IV(2): 290-303.
- Siregar. R. A., Yunuasfi., dan A. Suryanti. 2014. **Komunitas Bivalvia dan Gastropoda di Pantai Cermin Sumatera Utara.** *Aquacoastmarine.* II (1).
- Soemodiharjo, S. 1986. **Peran Cilia Dalam Kehidupan *Isognomon perna*, Bivalvia.** *Oseana.* XI(1):29-35.
- SOP BBAP Jepara. 2011. **Prosedur Operasional Standar Analisis Kualitas Air.** *Buku Panduan.* Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau: Jepara.
- Sokolova, I. M., S. Evans., and F. M. Hughes. **Cadmium-induced apoptosis in oyster hemocytes involves disturbance of cellular energy balance but no mitochondrial permeability transition.** *The Journal of Experimental Biology.* 207: 3369 – 3380.
- Sokolova, I. M., A.H. Ringwood., dan C. Johnson. 2005. **Tissue-specific accumulation of cadmium in subcellular compartments of eastern oysters *Crassostrea virginica* Gmelin (Bivalvia: Ostreidae).** *Aquatic Toxicology.* LXXIV(2005): 218-228.
- Sung, Y. Yik dan T. H. Macrae. 2011. **Heat Shock Proteins and Disease Control in Aquatic Organisms.** *J Aquac Res Development.*1-10.
- 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 Ujungpangkah Kabupaten Gresik, Jawa Timur.** *Skripsi.* Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Suseno, H dan S. M. Panggabean. 2007. **Merkuri: Spesiasi dan Bioakumulasi Pada Biota Laut.** *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah.* X(1): 66-78.
- Suwignyo, , S., B. Widigdo., Y. Wardianto., dan M. Krisanti. 1998. **Avertebrata Air Untuk Mahasiswa Perikanan Jilid 2.** Fakultas Perikanan dan Ilmu Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Syarifuddin, A. 2011. **Identifikasi Plasma Nutfah Veetasi Hutan Alam Resort Trsula Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS).** *Jurnal GAMMA.* VI(2):77-94.
- Syahaudin. 2013. **Penentuan Aktivitas Enzim SGOT dan SGPT Pada Hewan Uji Kelinci yang Telah Diberi Ekstrak Tiram *Crassostrea iredalei* Asala**

**Pantai Takalar Sulawesi Selatan.** *Prosiding.* Fakultas Farmasi. Universitas Hasanuddin.

Taufiq, N., R. Hartati. 2001. **Studi Kandungan Pb Pada Tiram (*Crassostrea sp.*) dan Udang Krasak (*Metapenaeus sp.*) Di Pantai Semarang.** *Laporan Penelitian.* Universitas Diponegoro.

Wahyuningtyas, S. M. 2010. **Analisis Beberapa Aspek Biologi Reproduksi Pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) Di Perairan Bojonegara, Teluk Banten, Banten.** *Skripsi.* Institut Pertanian Bogor.

Walpole, R. E. 1995. **Pengantar Statistika Edisi ke-3.** Penerbit Gramedia. Jakarta.

Widiastuti, E. 1998. **Distribusi Dan Populasi Tiram (*Crassostrea cucullata*) Di Tegakan Mangrove.** *Laporan Penelitian.* Lembaga Penelitian. Universitas Diponegoro.

Widjaja, F. Felix., L. A. Santoso., dan S. Waspadji. 2009. **Peran Heat Shock Protein Terhadap Resistensi Insulin.** *Maj Kedokt Indon.* LIX(3): 121-128.

Wulandari, S. Y., B. Yulianto., G. W. Santosa., dan K. Suwartimah. 2009. **Kandungan Logam Berat Hg dan Cd dalam Air, Sedimen dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) dengan Menggunakan Metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN).** *Ilmu Kelautan.* XIV(3): 170-175.

Wulandari, E., E. Y. H Wulandari., dan D. Arfiati. 2012. **Kandungan Logam Berat Pb pada Air laut dan Tiram *Saccrostrea glomerata* sebagai Bioindikator Kualitas Perairan Prigi, Treanggalek, Jawa Timur.** *Jurnal Penelitian Perikanan.* 1(1):10-14.

Wijayanti, H. 2007. **Kajian Kualitas Perairan Di Pantai Kota Bandar Lampung Berdasarkan Komunitas Hewan Makrobenthos.** *Tesis.* Program Pascasarjana. Universitas Diponegoro. Semarang.

Zipcodezoo. 2014. *Website.* <http://www.zipcodezoo.html>. Diakses pada tanggal 1 November 2014.

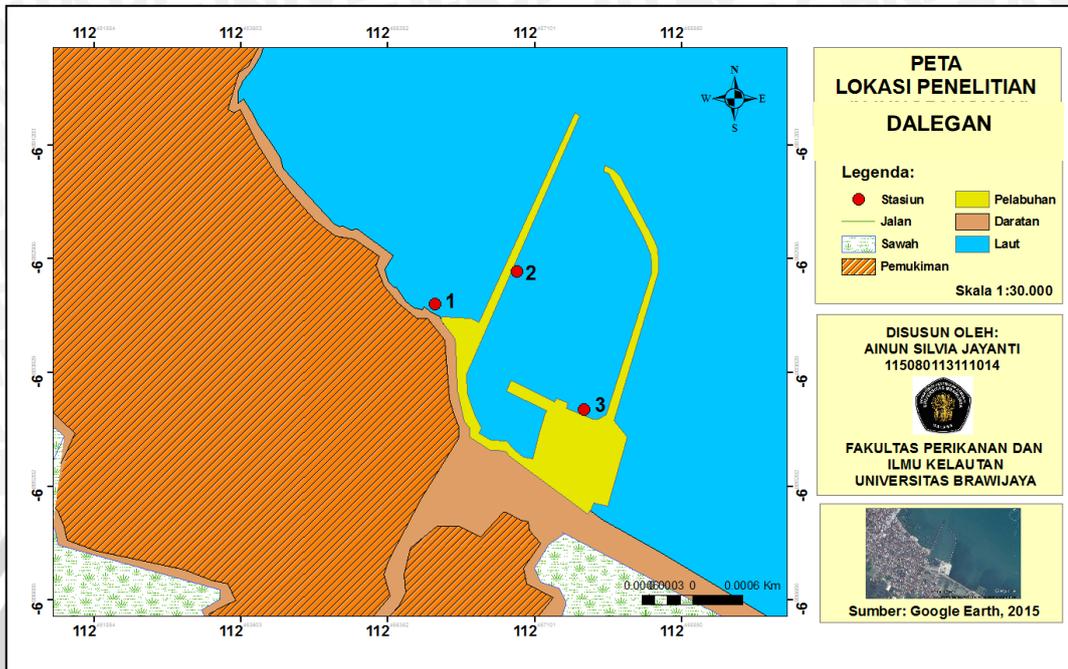


Lampiran 2. Peta Kota Gresik

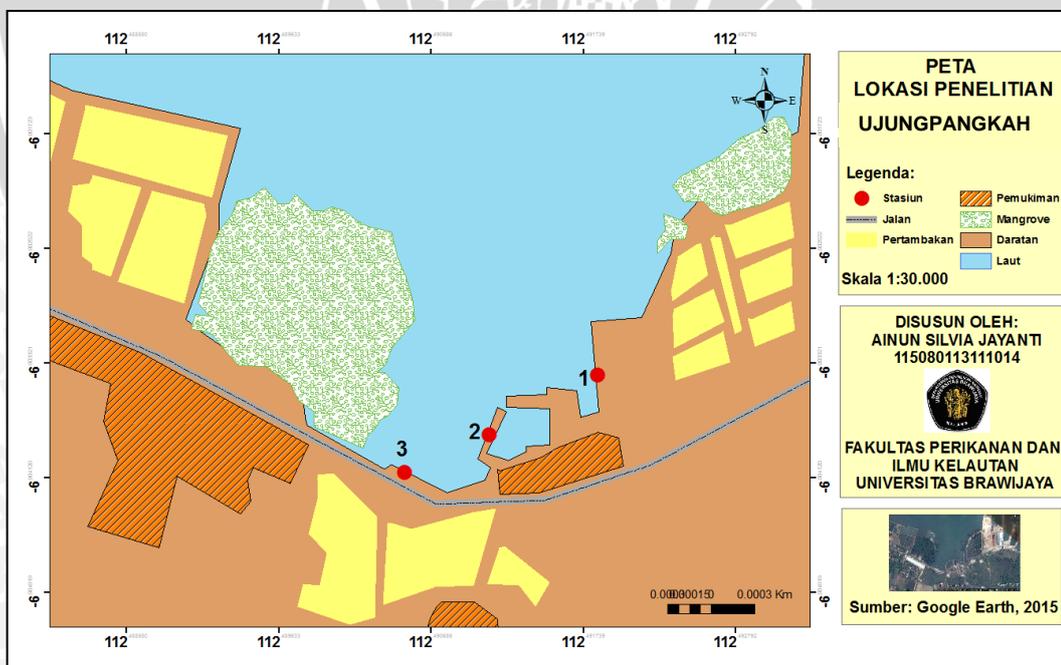


Sumber: Google image (2015)

Lampiran 3. Peta stasiun 1 pengambilan sampel air dan tiram



Lampiran 4. Peta stasiun 2 pengambilan sampel air dan tiram



**Lampiran 5.** Hasil Pengukuran Logam berat

Lokasi	Sampel	Pb (ppm)	Hg (ppm)	Cd (ppm)
Stasiun 1	Air	0.021	0.005	0.005
		0.014	0.003	0.006
		0.028	0.007	0.004
Stasiun 2		0.009	0.011	0.004
		0.019	0.015	0.002
		0.012	0.008	0.006
Stasiun 1	Daging	0.138	0.071	0.068
		0.083	0.102	0.055
		0.116	0.078	0.089
Stasiun 2		0.044	0.024	0.034
		0.083	0.055	0.062
		0.055	0.039	0.041

**Lampiran 6.** Kategori Tingkat Hubungan Variabel pada Interval Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0.00-0.199	Sangat rendah
0.20-0.399	Rendah
0.40-0.599	Cukup
0.60-0.799	Kuat
0.80-1.000	Sangat kuat

**Sumber :** Walpole (1995)