

**ANALISIS LOGAM BERAT TEMBAGA (CU) DAN DAMPAK
KADAR METALLOTHIONEIN TERHADAP KERANG HIJAU
(*Perna viridis*) DI DESA NGEMBOH,
KABUPATEN GRESIK.**

TESIS

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister**



Oleh:

**MUHAMMAD QODRI FITRA
NIM : 146080100111013**

**PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN
MINAT LINGKUNGAN**

**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**



ANALISIS LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) DAN DAMPAK KADAR METALLOTHIONEIN TERHADAP KERANG HIJAU (*Perna viridis*) DI DESA NGEMBOH, KABUPATEN GRESIK

TESIS

OLEH

MUHAMMAD QODRI FITRA
NIM. 146080100111013

Telah dipertahankan di depan penguji
Pada tanggal : 9 Juli 2018
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui :
Komisi Pembimbing,

Ketua

Anggota

Prof. Dr. Ir. Diana Arfiati, MS
NIP. 19591230 198503 2 002
Tanggal:

Ir. Bambang Semedi, M.Sc., Ph.D
NIP. 19621220 198803 1 004
Tanggal:

24 JUL 2018

Mengetahui,

24 JUL 2018

Dekan
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan

Ketua
Program Magister



Prof. Dr. Ir. Happy Nursyam, MS
NIP. 19600322 198601 1 001
Tanggal:

24 JUL 2018

Prof. Dr. Ir. Sri Andayani, MS
NIP. 19611106 198602 2 001
Tanggal:

24 JUL 2018

JUDUL TESIS:

ANALISIS LOGAM BERAT TEMBAGA (CU) DAN DAMPAK KADAR METALLOTHIONEIN TERHADAP KERANG HIJAU (*Perna viridis*) DI DESA NGEMBOH, KABUPATEN GRESIK.

Nama Mahasiswa : Muhammad Qodri Fitra

NIM : 146080100111013

Program Studi : Magister Budidaya Perairan

Minat : Lingkungan

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Prof. Dr. Ir. Diana Arfiati, MS.

Anggota : Ir. Bambang Semedi, M.Sc., Ph.D.

KOMISI PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. Muhammad Musa, MS

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Umi Zakiyah, M.Si

Tanggal Ujian Tesis : 9 Juli 2018

SK Penguji :

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 23 Juli 2018
Mahasiswa

Muhammad Qodri Fitra
NIM.146080100111013



RIWAYAT HIDUP



Muhammad Qodri Fitra lahir di Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 25 November 1991 dari pasangan Djamali dan Suci Atimah. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis pernah mengenyam pendidikan di TK Cahaya Muda, Surabaya pada tahun 1995-1997. Pendidikan Sekolah Dasar diselesaikan di SDN Lidah Wetan III/ 463, Surabaya pada tahun 1997-2003. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama diselesaikan di SMPN 16 Surabaya pada tahun 2003-2006. Pendidikan Sekolah Menengah Atas diselesaikan di SMAN 9 Surabaya pada tahun 2006-2009. Pendidikan Strata 1 (S1) diselesaikan di Pogram Studi Budidaya Perairan, Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang pada tahun 2009-2014. Saat ini penulis sedang menyelesaikan Pendidikan Strata (S2) Program Magister Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya Malang pada tahun 2014-2018. Saat menempuh program S1 penulis membuat tugas akhir yang berjudul "Pengaruh Perbedaan Lama Perendaman dalam Larutan Asam Tanin Terhadap Daya Tetas Telur Ikan Patin Siam (*Pangasianodon hypophthalmus*)". Saat menempuh program S2 penulis membuat tesis yang berjudul "Analisis Logam Berat Tembaga (Cu) dan Dampak Kadar Metallothionein Terhadap Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik".

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan laporan tesis ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kepada Allah SWT atas perlindungan, bimbingan, rahmat dan hidayah-Nya.
2. Prof. Dr. Ir. Diana Arfiati, MS dan Ir. Bambang Semedi, M.Sc., Ph.D selaku komisi pembimbing yang selalu arahan dan bimbingannya.
3. Dr. Ir. Muhammad Musa, MS dan Dr. Ir. Umi Zakiyah, M.Si selaku dosen penguji atas saran dalam penyelesaian laporan tesis ini.
4. Kedua orang tua yaitu Abi Drs. H. Djamali, M.Si dan Umi Dra. Hj. Ec. Suci Atimah tercinta yang selalu memberikan dukungan dan semangat yang tak henti-hentinya.
5. Istri saya, Gita Cahyaningrum yang telah memberikan dukungan dan doa.
6. Adik-adik saya, Rofiudin dan Salsabila yang selalu mendukung dan menemani.
7. Pak Zainudin dan Pak Mijan yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan analisis sampel di laboratorium dan banyak membantu penulis selama penelitian.
8. Khususnya untuk rekan-rekan penulis yaitu Septuresty, Fajar, Aris, Ayi, Dani, Sulaiman, Habib, Febi, Mufti, Aminin atas bantuan dukungan selama penelitian hingga penyelesaian laporan tesis ini.
9. Keluarga besar Magister 2014 yang selalu berbagi suka dan duka.
10. Seluruh pihak yang telah membantu terselesaikannya laporan tesis, yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

RINGKASAN

MUHAMMAD QODRI FITRA. Analisis Logam Berat Tembaga (Cu) dan Dampak Kadar Metallothionein Terhadap Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik. Komisi Pembimbing, Ketua: **Prof. Dr. Ir. Diana Arfiati, MS., Anggota: Ir. Bambang Semedi, M.Sc., Ph.D.**

Wilayah Pesisir Kecamatan Ujung Pangkah, Kabupaten Gresik merupakan penghasil kerang hijau (*Perna viridis*) yang cukup besar. Pada tahun 2013 diperoleh hasil di bulan September mencapai 240 ton. Dalam penelitian sebelumnya, kerang hijau di Kecamatan Ujung Pangkah, Kabupaten Gresik mengandung logam berat Tembaga (Cu) yang masih di bawah baku mutu yang ditentukan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui sebaran kandungan logam berat Tembaga (Cu) pada air dan kerang hijau serta menganalisa kadar metallothionein pada insang dan lambung kerang hijau. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli sampai Agustus 2017 di Desa Ngemboh, Kecamatan Ujung Pangkah, Kabupaten Gresik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei. Pada pengambilan sampel air laut dilakukan sebanyak 3 kali dan pengambilan sampel kerang hijau sebanyak 50 butir disetiap titik lokasi pengambilan sampel. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Juli dan Agustus di minggu kedua. Kemudian dilakukan uji kandungan logam berat Cu pada sampel air laut dan kerang hijau. Hasil uji kandungan logam berat Cu pada air digunakan untuk menduga sebaran logam berat dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis. Untuk uji kadar metallothionein, kerang hijau dibedah dan diambil bagian insang dan lambung. Sehingga didapatkan hasil penelitian, kandungan logam berat Cu perairan di Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik tertinggi sebesar 0,006 ppm, sedangkan akumulasi logam berat Cu pada kerang hijau tertinggi sebesar 0,71 ppm. Berdasarkan hasil tersebut, kadar Cu pada perairan dan kerang hijau masih dibawah ambang batas yang ditetapkan Perikanan (DKP) No: Kep 20/Men/2004, SK Ditjen POM No. 03725/B/SK/VII/1989 yaitu kadar logam berat Cu air laut sebesar 0,05 ppm dan kerang hijau sebesar 5 mg/l. Selanjutnya hasil uji metallothionein didapatkan perbandingan densitas dengan kadar Cu dalam kerang hijau yang tertinggi sebanyak 73x di organ insang dan 79x di organ lambung pada kawasan buangan sungai Ngemboh, sedangkan terendah sebanyak 20x di organ insang dan lambung pada kawasan pantai Delegan. Hasil kadar logam berat Cu dan densitas metallothionein tersebut, menunjukkan semakin tinggi logam berat Cu maka densitas metallothionein semakin tinggi, karena metallothionein dapat mengikat logam berat non esensial di dalam sel. Kadar logam berat Cu dalam kerang hijau berkorelasi kuat dengan densitas dan intensitas metallothionein (nilai R korelasi lebih dari 0,75). Sehingga semakin besar ukuran kerang hijau dan makin banyak kandungan logam berat didalam kerang hijau maka kadar metallothionein dalam kerang hijau akan semakin tinggi. Kadar logam berat dalam kerang hijau dapat diketahui dari kadar metallothionein pada lambung dan insangnya.



SUMMARY

MUHAMMAD QODRI FITRA. Analysis of Heavy Metal of Copper (Cu) and the Impact of Metallothionein level on Green Mussel (*Perna viridis*) at Ngemboh, Gresik District. Komisi Pembimbing, Ketua: **Prof. Dr. Ir. Diana Arfiati, MS., Anggota: Ir. Bambang Semedi, M.Sc., Ph.D.**

Coastal Area District Ujungpangkah, Gresik is a quite large producer of green mussels (*Perna viridis*). In September 2013 the results obtained reached 240 tons. In a previous research, green mussels in Ujung Pangkah Subdistrict, Gresik contain heavy copper (Cu) which is still below the specified quality standard. The purpose of this research is to know the distribution of heavy metal copper (Cu) in water, and green mussels in Ngemboh Village, Gresik and to analyze metallothionein content in gills and green mussels hull. This research was conducted from July to August 2017 in Ngemboh Village, Ujung Pangkah Sub-district, Gresik. The method used in this research is survey method. At each point of harvest, sea water samples were taken 3 times and green mussels as much as 50 green shell. Sampling was conducted in the second week of July and August. Then tested Cu heavy metal content. The test results of heavy metal content of Cu in water is used to estimate the distribution of heavy metals using Geographic Information System. To test the levels of metallothionein, green mussels are dissected and removed by gill and stomach. So the result of research was the highest of heavy metal content of Cu waters in Ngemboh Village, Gresik Regency has 0,006 ppm, while accumulation of Cu heavy metal at the highest green mussels has 0,71 ppm. Based on these results, Cu levels in waters and green mussels were still below the established threshold of Fisheries (DKP) No: Kep 20 / Men / 2004, Decree DG of POM No. 03725 / B / SK / VII / 1989 that heavy metal content of Cu of sea water of 0.05 ppm and green mussels of 5 mg / l. Further metallothionein test results obtained density ratio with the highest concentration of Cu in the green shell as much as 73x in gill organs and 79x in the gastric organs in Ngemboh river discharges, while the lowest as much as 20x in gill organs on the Delegan beach area. The result of heavy metals Cu and metallothionein density, indicating the higher Cu heavy metals then the density of metallothionein higher, because metallothionein can bind non-essential heavy metals in the cell. The result of the relation of size and weight of Cu metal in green mussels with metallothionein density has a strong relation since the R value of correlation was more than 0.75. Similarly, the relation between the size and weight of Cu heavy metals in the green mussels with metallothionein intensity has a strong relationship because the correlation R value exceeds 0.75. This explained that the bigger the size and heavy metal in the green mussels so the content of metallothionein in the green mussels will be higher. The levels of heavy metals in green shells can be known from the levels of metallothionein in the stomach and gill.



KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah SAW, sehingga penulis dapat menyajikan Laporan Tesis yang berjudul "Analisis Logam Berat Tembaga (Cu) dan Dampak Kadar Metallothionein Terhadap Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik". Laporan Tesis ini merupakan salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar magister (S-2) pada Program Studi Budidaya Perairan, Program Pascasarjana, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.

Penulis menyadari bahwa penulisan Laporan Tesis ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan Tesis ini. Penulis berharap semoga Laporan Tesis ini dapat bermanfaat dalam menambah pengetahuan dan memberikan informasi bagi pihak-pihak yang berminat dan membutuhkannya.

Malang, 23 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR IDENTITAS TIM PENGUJI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perairan Pesisir	5
2.2 Pencemaran Perairan	5
2.3 Logam Berat	6
2.4 Tembaga (Cu)	7
2.5 Sumber Tembaga (Cu)	8
2.6 Kandungan Tembaga (Cu) dalam Air	8
2.7 Kandungan Tembaga (Cu) dalam Kerang	9
2.8 Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i> L)	10
2.8.1 Biologi dan Taksonomi	10
2.8.2 Kebiasaan Makan	13
2.8.3 Mekanisme Penyerapan Makanan	13
2.9 Metallothionein	14
2.10 Pengikatan Logam Berat oleh Metallothionein	15
2.11 Ekspresi Metallothionein dengan Metode Imunohistokimia	16
2.11.1 Insang	17
2.11.2 Lambung	18

2.12	Parameter Kualitas Air	19
2.13	Sistem Informasi Geografis	22
III. KERANGKA KONSEP PENELITIAN		23
3.1	Landasan Teori	23
3.2	Kerangka Pikir	24
3.3	Kerangka Operasional	26
3.3.1	Penelitian Tahap I	26
3.3.2	Penelitian Tahap II	27
3.4	Kebaharuan Penelitian	28
IV. METODE PENELITIAN		30
4.1	Metode Penelitian	30
4.2	Prosedur Penelitian	30
4.2.1	Penentuan Lokasi Penelitian	30
4.2.2	Teknik Pengambilan Sampel	32
4.2.3	Sebaran Ukuran Sampel Kerang	34
4.2.4	Analisis Logam Berat Cu	34
4.2.5	Pengamatan Histopatologi	35
4.2.6	Perhitungan Densitas dan Intensitas	36
4.3	Analisis Data	38
4.3.1	Analisis Kandungan Logam Berat	38
4.3.2	Perbandingan dengan Baku Mutu	39
4.3.3	Analisis Sistem Informasi Geografis	39
4.3.4	Analisis Kualitas Air	40
V. HASIL DAN PEMBAHASAN		42
5.1	Keadaan Umum Lokasi Penelitian	42
5.2	Logam Berat Cu pada Perairan	43
5.3	Logam Cu pada Kerang Hijau	46
5.4	Ekspresi Metallothionein pada Insang dan Lambung Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>) dengan Metode Imunohistokimia	49
5.5	Intensitas Metallothionein	53
5.5.1	Intensitas Metallothionein pada Insang	53
5.5.2	Intensitas Metallothionein pada Lambung	54
5.6	Densitas Metallothionein	56
5.6.1	Densitas Metallothionein Insang	56
5.6.2	Densitas Metallothionein Lambung	57
5.7	Hubungan Ukuran dan Kadar Logam Berat Cu dengan Intensitas Metallothionein pada Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	58
5.8	Hubungan Ukuran dan Kadar Logam Berat Cu dengan Intensitas Metallothionein pada Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	62
5.9	Parameter Kualitas Air	64
5.9.1	Suhu	65
5.9.2	Kecepatan Arus	65
5.9.3	Derajat Keasaman (pH)	66
5.9.4	Oksigen Terlarut (DO)	66
5.9.5	Salinitas	67
VI. KESIMPULAN DAN SARAN		68
6.1	Kesimpulan	68
6.2	Saran	68



DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
1.	Kerang Hijau	11
2.	Anatomi Kerang Hijau	12
3.	Histologi Jaringan Insang Kerang Hijau	17
4.	Histologi Jaringan Lambung Kerang Hijau	18
5.	Kerangka Pikir Penelitian	25
6.	Kerangka Operasional Penelitian Tahap I	27
7.	Kerangka Operasional Penelitian Tahap II	28
8.	Lokasi Titik Pengambilan Sampel	31
9.	Tahapan Analisis Sebaran Kandungan Logam Berat	40
10.	Kadar Logam Berat Cu pada Air Laut	43
11.	Peta Logam Berat Cu pada Air di Bulan Juli	44
12.	Kadar Logam Berat Cu pada Air Laut	45
13.	Peta Logam Berat Cu pada Air di Bulan Agustus	46
14.	Kadar Logam Berat Cu pada Kerang Hijau	47
15.	Kadar Logam Berat Cu pada Kerang Hijau	48
16.	Ekspresi Metallothionein (MT) Insang Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>) di Titik Sampel 3, 4, dan 5	50
17.	Ekspresi Metallothionein (MT) Lambung Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>) di Titik Sampel 3, 4, dan 5	51
18.	Intensitas Metallothionein pada Jaringan Insang Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	53
19.	Intensitas Metallothionein pada Jaringan Lambung Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	55
20.	Densitas Metallothionein pada Jaringan Insang Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	57
21.	Densitas Metallothionein pada Jaringan Lambung Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	57

22. Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu dengan Intensitas MT di Insang Kerang Hijau 60

23. Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu dengan Intensitas MT di Lambung Kerang Hijau 61

24. Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu dengan Densitas MT di Insang Kerang Hijau 63

25. Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu dengan Densitas MT di Lambung Kerang Hijau 63

26. Pergerakan Arus di Perairan Ujung Pangkah di Bulan Agustus 65



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
1.	Penelitian Terdahulu	29
2.	Ukuran Sebaran Kerang Hijau	33
3.	Baku Mutu Logam Berat Cu untuk Air dan Biota Laut.....	39
4.	Data Hasil Analisis Hubungan Intensitas Metallothionein Insang dan Lambung.....	59
5.	Data Hasil Analisis Hubungan Densitas Metallothionein Insang dan Lambung.....	62
6.	Hasil Pengamatan Kualitas Air pada Bulan Juli dan Agustus.....	64



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
1.	Alat dan Bahan Penelitian.....	76
2.	Dokumentasi Penelitian	77
3.	Data Intensitas Metallothionein pada Insang	80
4.	Data Intensitas Metallothionein pada Insang	81
5.	Data Densitas Metallothionein pada Insang	82
6.	Data Densitas Metallothionein pada Lambung	83
7.	Output Analisis Regresi Berganda antara Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu Kerang Hijau dengan Intensitas Metallothionein pada Insang	84
8.	Output Analisis Regresi Berganda antara Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu Kerang Hijau dengan Intensitas Metallothionein pada Lambung	86
9.	Output Analisis Regresi Berganda antara Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu Kerang Hijau dengan Densitas Metallothionein pada Insang	88
10.	Output Analisis Regresi Berganda antara Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu Kerang Hijau dengan Densitas Metallothionein pada Lambung	90

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industrialisasi saat ini sedang mengalami perkembangan di Jawa Timur.

Tidak hanya di kota-kota besar, melainkan juga telah merambah ke daerah-daerah pesisir, salah satunya yaitu Kabupaten Gresik. Kabupaten Gresik sendiri

berada di pesisir utara Jawa Timur. Luas wilayah perairan mencapai 5.773,80 km², dimana sangat berpotensi untuk sektor perikanan darat maupun laut.

Banyaknya kegiatan industri di daerah Gresik ini menjadikan kota Gresik sebagai kota industri. Berdasarkan data industri periode tahun 2003-2011 terdapat 626 industri kecil dan 706 industri menengah dan besar dengan berbagai ragam jenis kegiatannya. Namun hanya 22 industri yang memiliki dokumen AMDAL dan 226 industri yang memiliki dokumen RPL pada tahun 2009 (Lestari dan Fitri, 2013).

Selain itu perairan di daerah Desa Ngemboh Kabupaten Gresik merupakan hilir aliran Bengawan Solo. Sehingga perairan utara Kabupaten Gresik menampung berbagai jenis senyawa yang bersumber dari limbah, baik oleh aliran sungai maupun anak-anak sungainya. Wilayah Pesisir Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik merupakan penghasil kerang hijau (*Perna viridis*) yang cukup besar. Berdasarkan data hasil tangkapan nelayan, pada tahun 2013 diperoleh hasil di bulan September mencapai 240 ton (Eshmat *et al.*, 2014).

Kerang hijau mampu bertahan hidup dan berkembang biak pada tekanan ekologis yang tinggi tanpa mengalami gangguan yang signifikan. Akan tetapi pencemaran lingkungan merupakan faktor utama yang dapat menghambat kelangsungan hidup kerang hijau (Cappenberg, 2006). Jenis kerang-kerangan merupakan jenis organisme khas yang dapat mengakumulasi logam berat, dan kerang mempunyai mobilitas yang rendah. Dengan sifat dan kemampuan adaptasi tersebut, adanya logam berat di dalam tubuhnya dipandang dapat

mewakili keberadaan logam berat yang terdapat di habitatnya (Matagi *et al.*, 1998).

Salah satu bahan pencemar pada perairan logam berat adalah tembaga (Cu). Cu digolongkan ke dalam logam berat esensial, artinya meskipun merupakan logam berat beracun, unsur logam ini sangat dibutuhkan tubuh meski dalam jumlah sedikit. Toksisitas yang dimiliki oleh tembaga baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait.

Tembaga juga dibutuhkan manusia sebagai kompleks Cu-protein yang mempunyai fungsi tertentu dalam pembentukan hemoglobin, kolagen, pembuluh darah, dan myelin otak. Di samping itu Cu juga terlibat dalam proses pembentukan energi untuk metabolisme serta dalam aktifitas tirosin. Namun demikian, meski sangat dibutuhkan logam Cu akan berbalik menjadi bahan racun bila masuk dalam jumlah berlebihan (Palar, 2004).

Beberapa penelitian telah dilakukan di daerah perairan Kabupaten Gresik.

Penelitian menurut Lestari dan Fitri (2013), menjelaskan di perairan kecamatan Ujung Pangkah dikategorikan tercemar ringan. Indeks pencemaran laut berada pada tingkat 1-5. Namun ada beberapa logam berat yang ditemukan melebihi nilai baku mutu diantaranya kandungan logam Tembaga (Cu) mencapai 0,218 mg/L (standart baku mutu 0,005 mg/L) dan kandungan logam Seng (Zn) mencapai 0,27 mg/L (standart baku mutu 1,5-1,0 mg/L). Angka ini mengindikasikan bahwa perairan tercemar berat. Hasil penelitian yang lain dilakukan oleh Verlanda (2015), yaitu hasil konsentrasi dari logam Cu pada kerang hijau di kawasan perairan Ujung Pangkah tertinggi sebesar 0,02 mg/L. sedangkan terendah sbesar 0,177 mg/L.

Peningkatan konsentrasi logam berat yang melebihi batas tertentu juga akan mempengaruhi kualitas dan organisme dari suatu perairan tersebut. Kerang

merupakan biota yang potensial terkontaminasi logam berat, karena sifatnya yang *filter feeder*, sehingga biota ini sering digunakan sebagai hewan uji dalam pemantauan tingkat akumulasi logam berat pada organisme laut (Murtini dan Rosmawaty, 2006). Metallothionein merupakan golongan protein yang sering dikaitkan dengan logam berat. Metallothionein merupakan satu-satunya biomarker spesifik terhadap logam hingga sekarang (Dewi *et al.*, 2012).

Metallothionein dapat ditemukan pada sel hewan, tumbuhan tinggi, mikroorganisme eukariotik dan prokariotik. Akan tetapi meskipun demikian, metallothionein lebih sering dijumpai pada organ yang banyak terpapar oleh aktivitas senyawa logam seperti hati, ginjal, pembuluh darah, saluran pencernaan dan saluran pernafasan. Metallothionein secara langsung berperan penting pada mekanisme detoksifikasi, fasilitasi distribusi dan ekskresi berbagai senyawa logam (Soemirat, 2005)

Toksitas Cu akan terlihat apabila logam tersebut masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah yang melebihi nilai ambang batas. Organisme kerang hijau (*Perna viridis*) yang mendominasi wilayah perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik dijadikan petunjuk apakah kerang yang hidup di suatu perairan masih layak untuk dikonsumsi atau tidak. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kadar metallothionein yang ada di dalam organ insang dan lambung pada kerang hijau (*Perna viridis*).

1.2 Rumusan Masalah

Aktivitas industri yang semakin meningkat maka akan semakin banyak limbah yang dihasilkan, sehingga berdampak negatif terhadap pencemaran lingkungan perairan sekitar. Biota perairan juga akan terkena dampak pencemaran, salah satunya kerang hijau (*Perna viridis*) (Shahidul dan Tanaka, 2004). Kerang hijau digunakan sebagai indikator pencemaran karena sifatnya

sebagai *filter feeder* dan pasif (menetap pada satu tempat), selain itu kerang hijau juga berpotensi menimbulkan bahaya bagi yang mengkonsumsi, dikarenakan kerang yang hidup pada perairan tercemar, dapat mengakumulasi zat-zat beracun. Sehingga perlu dilakukan identifikasi metallothionein pada organ insang dan lambung pada kerang hijau.

Sehubungan dengan itu maka perumusan masalah yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa konsentrasi sebaran logam berat tembaga (Cu) pada air, dan kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik?
2. Bagaimana kadar intensitas dan densitas metallothionein pada insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis*)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari hasil penelitian ini diantaranya sebagai berikut :

1. Mengetahui sebaran kandungan logam berat Tembaga (Cu) pada air, dan kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik.
2. Menganalisis kadar intensitas dan densitas metallothionein pada insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis*).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu diperoleh informasi tentang sebaran kandungan logam berat Cu pada perairan dan kerang hijau, serta mengetahui kadar intensitas dan densitas metallothionein pada insang dan lambung kerang hijau.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perairan Pesisir

Perairan pesisir adalah daerah pertemuan darat dan laut, dengan batas darat dapat meliputi bagian daratan, baik kering maupun terendam air yang masih mendapat pengaruh sifat-sifat laut, seperti angin laut, pasang surut, dan intrusi air laut. Ke arah laut, perairan pesisir mencakup bagian batas terluar dari daerah paparan benua yang masih dipengaruhi oleh proses-proses alami yang terjadi di darat, seperti sedimentasi dan aliran air tawar.

Definisi wilayah seperti diatas memberikan suatu pengertian bahwa ekosistem perairan pesisir merupakan ekosistem yang dinamis dan mempunyai kekayaan habitat beragam, di darat maupun di laut serta saling berinteraksi. Selain mempunyai potensi besar wilayah pesisir juga merupakan ekosistem yang mudah terkena dampak kegiatan manusia. Umumnya kegiatan pembangunan secara langsung maupun tidak langsung berdampak merugikan terhadap ekosistem perairan pesisir (Dahuri *et al.*, 1996).

Pesisir adalah daerah pertemuan antara darat dan laut. Ke arah darat wilayah pesisir meliputi bagian daratan, baik kering maupun terendam air, yang masih dipengaruhi sifat-sifat laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air asin. Sedangkan ke arah laut wilayah pesisir mencakup bagian laut yang masih dipengaruhi oleh proses-proses alami yang terjadi di darat seperti sedimentasi dan aliran air tawar, maupun yang disebabkan oleh kegiatan manusia seperti penggundulan hutan dan pencemaran (Kordi dan Andi, 2009).

2.2 Pencemaran Perairan

Laut menjadi salah satu ekosistem yang mengalami pencemaran paling berat. Semua saluran pembuangan baik dari perumahan, pasar, pabrik dan

kegiatan lain seperti rumah makan, rumah sakit, semuanya berakhir di laut.

Limbah tersebut berupa limbah padat dan cair, yang mungkin terdiri atas bahan organik, yang beracun maupun tidak beracun. Hal-hal tersebut dapat mengakibatkan turunnya kualitas air di laut (Nirarita, 1996).

Pada umumnya aktivitas manusia yang mempengaruhi ekosistem laut meliputi kegiatan pertanian, perkebunan pemukiman, industri, dan lain sebagainya, secara langsung atau tidak langsung sampah atau limbah pertanian, pemukiman dan industri yang masuk ke sungai dapat mengakibatkan perubahan terhadap sifat fisika, kimia maupun sifat biologi perairan laut yang akan berpengaruh terhadap organisme (Wardhana, 1995).

2.3 Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa lebih besar dari 5gr/cm^3 , antara lain Cd, Hg, Pb, Zn, Cu. Logam berat terletak disudut kanan bawah pada sistem periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92, dari periode 4 sampai 7 (Ernawati, 2010). Logam berat bersifat toksik apabila berada di lingkungan. Delapan jenis logam berat yang paling umum menurut *Environment Protection Agency* (EPA) adalah As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb dan Zn (Sharma dan Anthal). Logam berat yang bersifat toksik tinggi terdiri dari unsur – unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn. Bersifat toksik sedang terdiri dari unsur – unsur Cr, Ni, dan Co, sedangkan bersifat toksik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe. Adanya logam berat di perairan berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia (De Vries *et. al.*, 2002).

Logam berat merupakan komponen alami tanah. Elemen ini tidak dapat didegradasi maupun dihancurkan. Logam berat dapat masuk kedalam tubuh

manusia melalui makanan, air minum, atau udara. Logam berat seperti tembaga (Cu), selenium atau seng (Zn) dibutuhkan tubuh manusia untuk membantu kinerja tubuh. Akan tetapi, dapat berpotensi menjadi racun jika konsentrasi dalam tubuh berlebih. Logam berat menjadi berbahaya disebabkan bioakumulasi, yaitu peningkatan konsentrasi unsur kimia didalam tubuh makhluk hidup (Hutagalung, 1991). Menurut Rumimohtarto (1991), bahwa logam berat masuk ke dalam perairan laut melalui run off, air sungai, angin, proses hidrotermal, difusi dari sedimen dan kegiatan antropogenik. Jalur-jalur tersebut akan berinteraksi membentuk suatu pola yang disebut siklus biogeokimia logam berat. Sumber logam berat pada organisme akuatik seperti tiram, dapat dijadikan sebagai indikator terhadap kelestarian lingkungan perairan (Acker *et al.*, 2005).

2.4 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) merupakan unsur yang terdapat dalam bentuk partikulat, koloid, dan terlarut di perairan alami. Logam Cu dalam tabel periodik memiliki nomor atom 29 dan mempunyai berat atom 63.546 g/mol, berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Logam Cu yang masuk ke dalam tatanan lingkungan perairan dapat terjadi secara alamiah maupun sebagai efek samping dari kegiatan manusia. Secara alamiah Cu masuk ke dalam perairan melalui erosi, sedangkan dari aktifitas manusia seperti kegiatan industri, pertambangan Cu, maupun industri galangan kapal (Palar, 2004).

Meskipun tembaga mengakibatkan keracunan, dalam jumlah yang sangat kecil merupakan logam atau mineral penting tubuh. Namun bila jumlahnya berlebih, maka akan berubah fungsi menjadi zat racun bagi tubuh. Toksisitas logam yang dimiliki logam tembaga, baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme tersebut (Nurdiani, 2005).

2.5 Sumber Tembaga (Cu)

Logam Cu yang masuk ke dalam lingkungan perairan dapat terjadi secara alamiah maupun dari aktifitas manusia. Secara alamiah Cu terakumulasi ke dalam perairan dari peristiwa erosi, pengikisan batuan maupun dari atmosfer yang dibawa turun oleh air hujan. Dari aktifitas manusia seperti kegiatan dan buangan limbah industri tembaga seperti industri galangan kapal, pertambangan Cu, beserta kegiatan di pelabuhan merupakan salah satu jalur yang mempercepat terjadinya peningkatan kelarutan Cu dalam perairan (Palar, 2004).

Banyaknya pencemaran logam berat yang berada dalam lingkungan perairan tersebut dapat dipengaruhi oleh sumber potensial logam berat, namun yang paling banyak dalam menyumbangkan pencemaran logam Cu adalah limbah buangan rumah tangga masyarakat yang dibuang ke sungai dan terakumulasi pada muara sungai hingga terbawa ke laut (Juniawan 2013). Primaharinastiti *et al.*, (2004), juga menambahkan bahwa tembaga (Cu) merupakan logam berat yang banyak dihasilkan oleh buangan industri pada pembuatan logam campuran seperti perunggu, emas, industri cat, industri tekstil zat warna dan penyepuhan logam.

2.6 Kandungan Tembaga (Cu) dalam Air

Bahan pencemaran dari berbagai aktifitas manusia dapat berupa limbah padat maupun limbah cair dan salah satu jenis limbah yang sangat berbahaya bagi lingkungan hidup dan kehidupan manusia adalah logam berat. Secara alamiah, unsur logam berat terdapat dalam perairan, namun dalam jumlah yang sangat rendah. Kadar ini akan meningkat apabila limbah yang banyak mengandung unsur logam berat masuk ke dalam lingkungan perairan sehingga akan terjadi racun bagi organisme perairan (Rennika dan Abdulgani, 2013).

Logam berat Cu biasanya terdapat dalam air laut, namun dalam jumlah yang sedikit. Batas konsentrasi dari unsur ini yang mempengaruhi air berkisar antara 1-5 ppm (Dewi dan Yosar, 2009). Konsentrasi logam berat Cu pada perairan laut terdapat sebesar 325.000 ton/tahun yang masuk dari proses alam jika masukan logam berat Cu tersebut masuk sebagai akibat kegiatan antropogenik, seperti galangan kapal, buangan industri, pengolahan industri tembaga (Rompas, 2010).

Keberadaan logam berat Cu di suatu perairan umum dapat berasal dari daerah industri yang berada di sekitar perairan tersebut dan akan terserap oleh biota perairan secara berkelanjutan apabila keberadaannya dalam perairan selalu tersedia (Cahyani *et al.*, 2012). Organisme hidup dalam perairan membutuhkan unsur logam berat Cu untuk pertumbuhan dan perkembangannya, namun akan menjadi toksik apabila logam berat yang masuk dalam jumlah yang terlalu berlebih (Rai *et al.*, 1981). Batas maksimal logam berat Cu pada perairan yang dianjurkan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 konsentrasi tidak lebih dari 0.008 ppm.

2.7 Kandungan Tembaga (Cu) dalam Kerang

Logam berat Tembaga (Cu) merupakan elemen mikro yang sangat dibutuhkan oleh organisme dalam jumlah tertentu. Dalam suatu perairan Cu berasal dari daerah industri yang berada di sekitar perairan tersebut. Dengan adanya masukan dan buangan yang mengandung logam berat akan menimbulkan dampak pada organisme yang hidup di perairan tersebut terutama jenis organisme yang menetap (sesil) (Suryono, 2006). Logam ini akan terserap oleh biota perairan secara berkelanjutan apabila keberadaan logam ini selalu tersedia. Terlebih lagi bagi biota perairan dengan mobilitas yang rendah seperti kerang (Cahyani *et al.*, 2012).

Tingkat toksik Cu akan terlihat ketika logam tersebut masuk dalam tubuh organisme dalam jumlah yang besar melebihi nilai ambang batas sehingga mampu membunuh biota-biota yang ada di perairan. Pada biota kerang bagian otot tubuhnya akan nampak kehijauan ketika terakumulasi Cu dalam jumlah yang tinggi (Nopriani, 2011). Logam berat yang masuk ke dalam tubuh hewan umumnya tidak dikeluarkan lagi dari tubuh mereka. Karena itu logam-logam ini cenderung menumpuk di dalam tubuh mereka. Sebagai akibatnya logam-logam ini akan terus ada disepanjang rantai makanan. Hal ini disebabkan oleh karena predator pada satu tropik level makan mangsa mereka dari tropik level yang lebih rendah yang telah tercemar (Hutabarat dan Evans, 2008).

2.8 Kerang Hijau (*Perna viridis* L)

2.8.1 Biologi dan Taksonomi

Kerang hijau (*Perna viridis*) atau green mussels adalah binatang lunak (mollusca) yang hidup di laut, bercangkang dua dan berwarna hijau (Sa'adah, 2010). Taksonomi kerang hijau pada Gambar 1, dan klasifikasinya menurut Cappenberg (2006), adalah sebagai berikut :

Kerajaan (Kingdom)	: Animalia
Filum (Phylum)	: Moluska
Kelas (Class)	: Pelecypoda (Bivalvia)
Sub klas (Sub Class)	: Lamellibranchiata
Bangsa (Ordo)	: Anisomyria
Induk suku (Super family)	: Mytilacea
Suku (Family)	: Mytilidae
Anak suku (Sub Family)	: Mytilinae
Marga (Genus)	: <i>Perna</i>
Jenis (Species)	: <i>Perna viridis</i> L



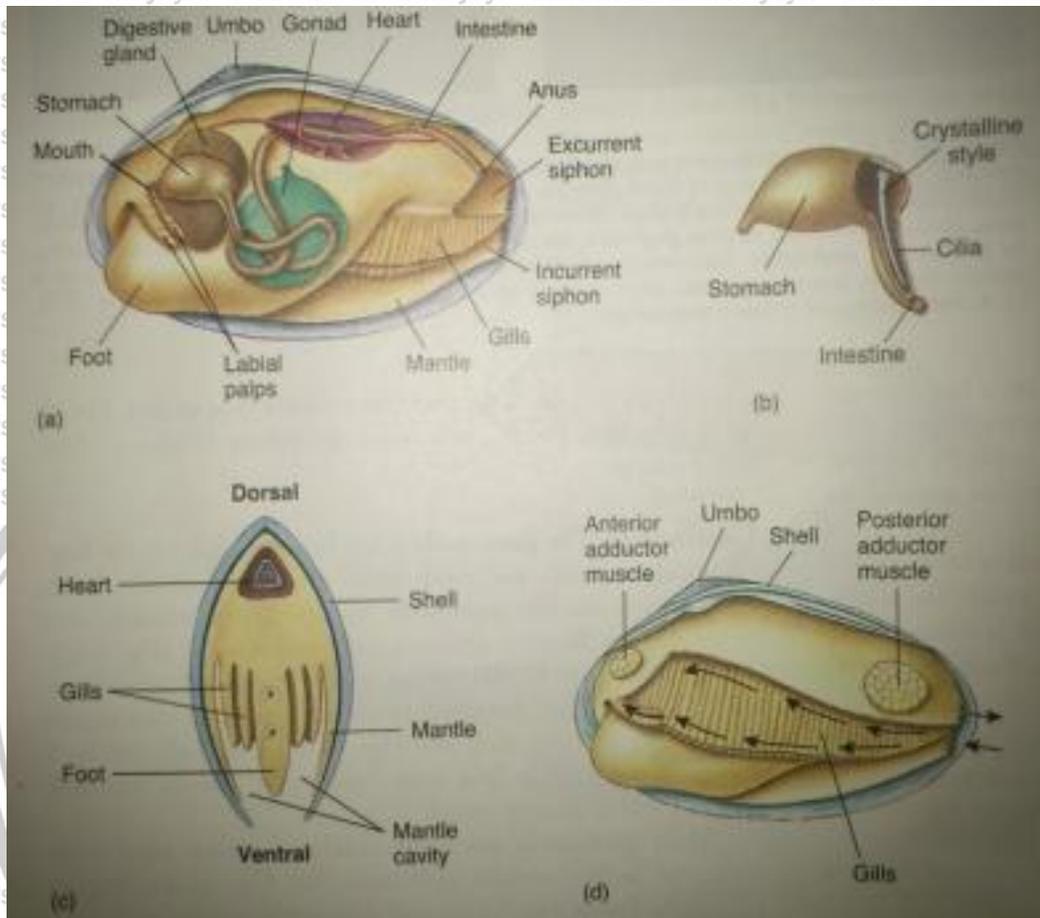
Gambar 1. Kerang Hijau (Dokumentasi Pribadi, 2017)

Habitat kerang hijau menempel pada substrat yang terdapat dalam air. Kerang hijau akan tumbuh dengan baik pada kedalaman 1-7 meter di perairan yang kaya akan plankton dan bahan organik tersuspensi. Kerang hijau dapat berpindah sepanjang tahun di daerah tropis namun puncaknya biasa terjadi pada bulan Maret hingga Juli. Telur yang dapat dihasilkan oleh satu induk kerang sebanyak 1,2juta butir (Hermawan, 2015).

Kerang hijau hidup subur di Indonesia pada muara-muara sungai dan hutan-hutan bakau, dengan kondisi lingkungan dasar perairan berlumpur yang mengandung bahan organik total yang tinggi, perairan yang dalam dengan kecerahan yang tinggi dan pergerakan air cukup, dengan kadar garam tidak terlalu tinggi. Pola distribusinya memencar dengan populasi berkelompok pada habitatnya. (Eshmat *et al.*, 2014).

Tubuh kerang terbagi menjadi tiga bagian yaitu kaki, mantel dan organ dalam. Pada kedua bagian mantel dihubungkan dengan engsel sehingga mantel dapat terbuka dan tertutup. Mantel merupakan bagian tipis yang berfungsi untuk melindungi organ dalam kerang. Pada bagian belakang mantel terdapat dua lubang yang di sebut sifon yang berfungsi untuk keluar masuknya air. Kaki kerang berupa bagian pipih yang terdapat dalam cangkang. Organ dalam kerang

hijau terdiri atas insang yang berlapis-lapis berjumlah dua pasang, organ pencernaan, organ jantung dan alat sekresi. Untuk lebih jelas, anatomi kerang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Anatomi Kerang (Castro and Huber, 2007)

Kerang hijau merupakan jenis *bivalve* dari kelompok Moluska yang berwarna hijau kebiru-biruan, berbentuk simetri bilateral yang terdiri dari dua keping cangkang yang dihubungkan oleh ligament pada bagian dorsal serta memiliki ukuran panjang sekitar 80-100mm, bahkan dapat mencapai sampai 165mm. Insangnya berlapis-lapis (*Lameliibranchia*) dan berkaki kapak (*Pelecypoda*) serta memiliki benang byssus (Murdinah, 2009).

Alat pernapasan kerang berupa insang dan bagian mantel. Insang kerang berbentuk W dengan banyak lamella yang mengandung banyak batang insang.

Pertukaran O₂ dan CO₂ terjadi pada insang dan sebagian mantel. Mantel terdapat di bagian dorsal meliputi seluruh permukaan dari cangkang dan bagian tepi. Antara mantel dan cangkang terdapat rongga yang di dalamnya terdapat dua pasang keping insang, alat dalam dan kaki. Alat peredaran darah sudah agak lengkap dengan pembuluh darah terbuka. Sistem pencernaan dari mulut sampai anus. Sistem sarafnya terdiri dari 3 pasang ganglion yang saling berhubungan yaitu ganglion anterior terdapat di sebelah ventral lambung, ganglion pedal terdapat pada kaki, ganglion posterior terdapat di sebelah ventral otot aduktor posterior (Sa'adah, 2010).

2.8.2 Kebiasaan Makan

Kerang hijau dalam hidupnya menetap pada substrat sehingga untuk mendapatkan makanannya, tiram menggunakan insang yang dilengkapi dengan silia dimana alat ini berfungsi untuk menarik bahan terlarut dalam air bersamaan dengan masuknya air ke dalam mulutnya (Nontji, 2002). Makanan kerang hijau berasal dari semua bahan yang tersuspensi di dalam air sehingga sumber makanannya tidak hanya dari jenis fitoplankton tetapi juga dari jenis bakteri, jamur, dan zat organik (Parenregi *et al.*, 1998).

Perna viridis mendapatkan makanan dengan cara menyaring partikel dari perairan termasuk di dalamnya mikroalga. Makanan kerang yang berupa mikroalga tersebut masuk ke dalam rongga mulut setelah melalui penyaringan dengan silia yang terdapat pada *labila palp* sehingga air yang mengandung makanan terbawa masuk ke dalam rongga mantel (Suryono, 2006).

2.8.3 Mekanisme Penyerapan Makanan

Kerang memakan detritus, alga bersel satu, dan bakteri. Proses yang terjadi terhadap makanan yang masuk ke dalam tubuhnya menurut Suwignyo *et al.*, (1998), adalah sebagai berikut:

1. Makanan masuk melalui sifon inhalant akan dijebak pada insang karena adanya mukus yang dihasilkan oleh kelenjar hypobranchial.
2. Zat makanan ini akan dialirkan ke mulut oleh sistem silia yang berkembang dengan baik, yang dikhususkan mengambil makanan dari permukaan insang menuju mulut. Kemudian makanan akan disortir oleh palp yang mengelilingi mulut yang mampu membedakan antara makanan dengan kerikil atau pasir, karena mengandung chemoreceptor.
3. Kerikil atau *pseudofeces* akan dikeluarkan oleh sifon exhalant, makanan ditransformasikan ke mulut.
4. Bagian ventral dari perut atau *style sac* berisi *crystalline sac* merupakan *mucopolysaccharide* yang memproyeksikan makanan ke perut. Sel-sel yang mensekresikan enzim-enzim pencernaan terdapat pada *style sac*. Sel-sel pada *style sac* tersebut mempunyai silia yang secara perlahan memutar *style sac*, gerakan rotasi ini berlangsung pada chitinous plate (*gastric shield*).
5. Gerakan rotasi ini akan mengakibatkan bercampurnya kandungan perut dan kemudian makanan akan hancur secara mekanis. Material yang tidak dicerna akan dibuang melalui anus sebagai feses. Kerang bersifat *filter feeder*, mekanisme makan bergabung dengan mekanisme pernafasan. Zat-zat makanan seperti fitoplankton serta organisme mikroskopik lain akan ikut tersaring dan kemudian diubah menjadi jaringan tubuh ketika kerang menyaring air. kerang mampu menyaring volume air sebanyak 300 ml/jam (Turgeon, 1988).

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

2.9 Metallothionein

Metallothionein merupakan protein yang sangat peka dan akurat sebagai indikator pencemaran. Hal ini didasarkan pada suatu fenomena alam dimana logam-logam dapat tersekap di dalam jaringan tubuh organisme yang dimungkinkan karena adanya protein tersebut. Dengan demikian, metallothionein merupakan protein pengikat logam (*metal-binding protein*) yang berfungsi dan berperan dalam proses pengikatan/penyekapan logam didalam jaringan setiap makhluk hidup (Azevedo *et al.*,2012).

Penelitian yang dilakukan Amiard *et al.*, (2007) menunjukkan bahwa induksi metallothionein yang terpapar oleh logam berat berpengaruh pada 96 jam dimana akan mengalami pengenceran dan akan sangat berkolerasi dengan peningkatan kandungan logam dalam fraksi sitosol. Hasil penelitian menunjukkan pada larva *Mytilus galloprovincialis* bahwa MT merupakan indikator yang lebih sensitif dari pencemaran logam.

2.10 Pengikatan Logam Berat oleh Methallotionein

Metallothionein (MT) ditemukan oleh Margoshes dan Vallee pada tahun 1957. Metallothionein merupakan protein stress yang terdapat dalam berbagai spesies hewan dan tumbuhan. Protein ini mempunyai berat molekul yang rendah dan hanya memiliki sedikit asam amino aromatik. Namun, metallothionein memiliki banyak residu sistein dalam bentuk tereduksi, sebesar 26-33%, yang mempunyai kemampuan tinggi dalam mengikat ion logam. Metallothionein menunjukkan peranan dalam detoksifikasi logam berat (Hg^{2+} , Cd^{2+}), metabolisme ion Zn^{+2} dan Cu^{+2} , detoksifikasi oksigen reaktif, dan metabolisme metalodrugs dan *alkylating agents* (Harsono, 2015).

Pada manusia dan mamalia, metallothionein mengikat 7 ion Zn^{+2} atau Cd^{+2} melalui 20 residu sistein, yang terdistribusi dalam 2 klaster bebas dan

sangat dinamik, Cd4(Stb)11 dan Cd3(Stb)9, terletak pada domain alpha- dan beta- protein (Nugroho, 2004).

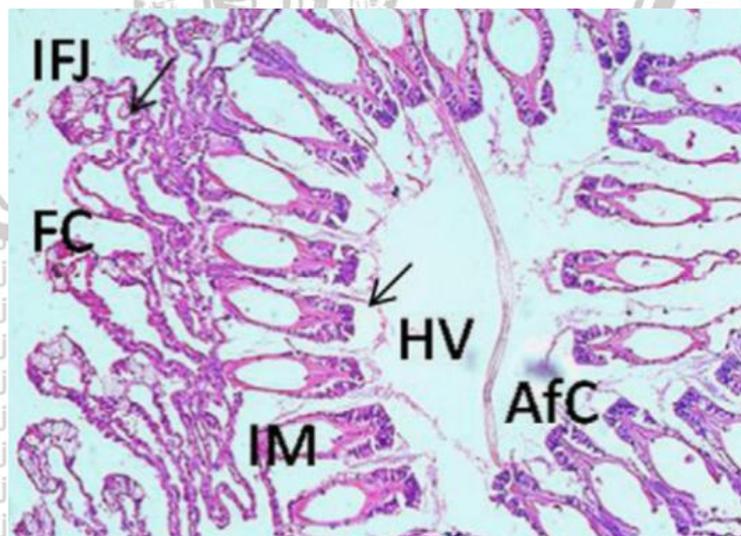
2.11 Ekspresi Metallothionein dengan Metode Imunohistokimia

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

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

2.11.1 Insang

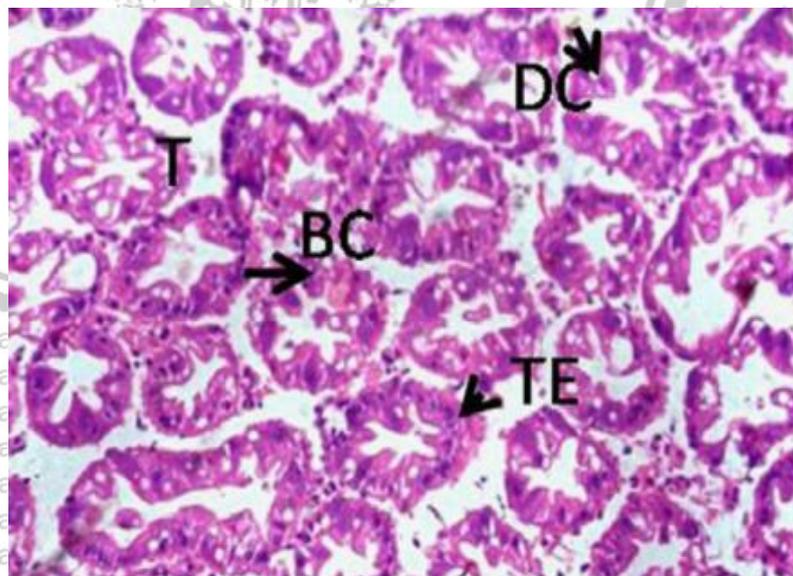
Kerang bernapas dengan sepasang insang dan mantel. Insang kerang berbentuk W dengan banyak lamella yang mengandung banyak batang insang. Insang merupakan organ respirasi utama yang bekerja dengan mekanisme difusi permukaan dari gas-gas respirasi (oksigen dan karbondioksida) antara darah dan air. Oksigen yang terlarut dalam air akan diabsorpsi ke dalam kapiler-kapiler insang dan difiksasi oleh hemoglobin untuk selanjutnya didistribusikan ke seluruh tubuh. Sedangkan karbondioksida dikeluarkan dari sel dan jaringan untuk dilepaskan ke air di sekitar insang. Insang merupakan penyaring aktif yang mengambil oksigen dan bahan organik dalam air serta menolak apa saja yang dapat menyumbat alat penyaring tersebut. Insang melekat pada organ-organ dalam di bagian depan dan bagian ujungnya bebas di dalam rongga mantel. Oleh sebab itu, apapun perubahan-perubahan yang terjadi di lingkungan perairan akan secara langsung dan tidak langsung berdampak kepada struktur dan fungsi insang. Histologi insang kerang hijau dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Histologi Jaringan Insang Kerang Hijau; Frontal Cilia (FC), Intermediate Zone (IM), Abfrontal Cilia (AfC), Haemolymph Vessel (HV), dan Interfilamentar junctions (IFJ). (Vasanthi, 2012).

2.11.2 Lambung

Saluran pencernaan kerang terdiri atas mulut, esofagus yang pendek, lambung yang dikelilingi kelenjar pencernaan, usus, rektum dan anus. Lambung adalah organ pencernaan yang paling melebar, dan terletak diantara bagian akhir dari esofagus dan awal dari usus halus (Gray, 2005). Lambung merupakan ruang berbentuk kantung mirip huruf J, berada di bawah diafragma, terletak pada regio epigastrik, umbilikal, dan hipokondria kiri pada regio abdomen (Tortora dan Derrickson, 2009). Mulut kerang terdiri dari palpus-palpus atau cuping-cuping bibir yang merupakan dua daun telinga terlipat dua, akar insang melekat pada tempat yang terletak diantara dua daun telinga tersebut. Dalam mengalirkan makanan ke mulut, cilia memegang peranan penting. Sebagai *filter feeder*, sebagian besar kerang menyaring makanannya menggunakan insang yang berlubang-lubang kemudian dilanjutkan ke lambung. (Suwignyo, 2005). Berikut gambaran dari histologi jaringan lambung kerang dapat di lihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Histologi Jaringan Lambung Kerang Hijau; Tubules (T), Basophilic Cells (BC), Digestive Cells (DC) and Tubular Epithelium (TE). (Vasanthi *et al.*, 2012).

2.12 Parameter Kualitas Air

Kualitas air adalah kondisi kualitatif air yang diukur dan diuji berdasarkan parameter tertentu dan metode tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Pasal 1 Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115: Tahun 2003), kualitas air tersebut dapat dinyatakan dengan parameter fisik karakteristik air dan kualitas air laut (Supiyati dan Gandika, 2012).

a. Konsentrasi Ion Hidrogen (pH)

Derajat keasaman (pH) mempunyai pengaruh yang besar terhadap kehidupan tumbuhan dan hewan perairan sehingga dapat digunakan sebagai petunjuk untuk menilai kondisi suatu perairan sebagai lingkungan tempat hidup (Odum, 1996). Air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan mempunyai pH sekitar 6,5-7,5. Air akan bersifat asam atau basa tergantung besar kecilnya pH. Bila pH di bawah pH normal, maka air tersebut bersifat asam, sedangkan air yang mempunyai pH di atas pH normal bersifat basa. Air limbah dan bahan buangan industri akan mengubah pH air yang akhirnya akan mengganggu kehidupan organisme di dalam air (Wardhana, 2004).

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

b. Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)

Sumber oksigen terlarut dapat berasal dari difusi oksigen yang terdapat di atmosfer (sekitar 35%) dan aktivitas fotosintesis oleh tumbuhan air dan

fitoplankton (Novotny dan Olem, 1994 dalam Effendi, 2003). Di lapisan permukaan laut, konsentrasi gas oksigen sangat bervariasi dan sangat dipengaruhi oleh suhu. Semakin tinggi suhu, maka semakin berkurang tingkat kelarutan oksigen. Oksigen terlarut berasal dari dua sumber yaitu dari atmosfer dan hasil proses fotosintesis tanaman laut dan fitoplankton. Keberadaan oksigen terlarut ini sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan bagi kebanyakan organisme untuk kehidupan antara lain pada proses respirasi dimana oksigen diperlukan untuk pembakaran (metabolisme) bahan organik sehingga terbentuk energi diikuti dengan pembentukan CO_2 dan H_2O (Wibisono, 2010).

Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Selain itu, oksigen juga menentukan biologis yang dilakukan oleh organisme aerobik atau anaerobik. Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrient yang pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan. Dalam kondisi anaerobik, oksigen yang dihasilkan akan mereduksi senyawa-senyawa kimia menjadi lebih sederhana dalam bentuk nutrient dan gas. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan rumah tangga (Salmin, 2005).

c. Salinitas

Salinitas memiliki arti penting bagi kelangsungan hidup organisme, hampir semua organisme laut hanya dapat hidup pada daerah yang mempunyai perubahan salinitas yang kecil (Hutabarat dan Evans, 2008). Salinitas menggambarkan padatan total di air setelah semua karbonat dikonversi menjadi

oksida, semua bromida dan iodida digantikan dengan klorida dan semua bahan organik telah dioksidasi (Sanusi, 2006).

Pengaruh aliran air tawar dari sungai menyebabkan stratifikasi salinitas di berbagai kedalaman, baik pada waktu pasang maupun surut. Lapisan permukaan cenderung memiliki salinitas lebih rendah dibandingkan dengan lapisan tengah, dan lapisan tengah ini lebih rendah dari salinitas dasar perairan.

Stratifikasi salinitas ini juga terjadi secara horizontal dimana daerah yang jauh dari muara mempunyai salinitas yang lebih tinggi daripada daerah yang berada di muara (Maslukah, 2006).

d. Suhu

Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang (*latitude*), ketinggian dari permukaan laut (*altitude*), dan aliran seta kedalaman badan air. Perubahan suhu berpengaruh terhadap poses fisika, kimia, dan biologi badan air. Suhu juga sangat berperan mengandalkan kondisi ekosistem perairan. Organisme akuatik memiliki kisaran suhu tertentu (batas atas dan bawah) yang disukai bagi pertumbuhannya (Effendi, 2003).

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

e. Kecepatan Arus

Kecepatan arus penting diamati sebab menurut Angelier (2003) dalam Siahaan *et al.* (2011), merupakan faktor pembatas kehadiran organisme di dalam

laut. Arus merupakan gerakan air yang sangat luas yang terjadi pada seluruh lautan di dunia. Arus ini mempunyai arti yang sangat penting dalam menentukan arah pelayaran bagi kapal-kapal. Kecepatan arus ini, akan berkurang cepat sesuai dengan makin bertambahnya kedalaman perairan dan akhirnya angin menjadi tidak berpengaruh sama sekali terhadap kecepatan arus pada kedalaman di bawah 200 meter. Pada saat kecepatan arus berkurang, maka tingkat perubahan arah arus yang disebabkan oleh gaya coriolis akan meningkat (Hutabarat dan Evans, 2008).

2.13 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Informasi spasial memakai lokasi, dalam suatu sistem koordinat tertentu, sebagai dasar referensinya. Karenanya SIG mempunyai kemampuan untuk menghubungkan berbagai data pada suatu titik tertentu di bumi, menggabungkan, menganalisis dan akhirnya memetakan hasilnya. Aplikasi SIG menjawab beberapa pertanyaan seperti: lokasi, kondisi, tren, pola, dan pemodelan. Kemampuan inilah yang membedakan SIG dari sistem informasi lainnya (Ranganath *et al.*, 2007).

Dilihat dari definisinya, SIG adalah suatu sistem yang terdiri dari berbagai komponen yang tidak dapat berdiri sendiri-sendiri. Memiliki perangkat keras komputer beserta dengan perangkat lunaknya belum berarti bahwa kita sudah memiliki SIG apabila data geografis dan sumberdaya manusia yang mengoperasikannya belum ada. Sebagaimana sistem komputer pada umumnya, SIG hanyalah sebuah 'alat' yang mempunyai kemampuan khusus. Kemampuan sumberdaya manusia untuk memformulasikan persoalan dan menganalisis hasil akhir sangat berperan dalam keberhasilan sistem SIG (Purwantara, 2010).

3. KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Landasan Teori

Aktivitas industri menghasilkan limbah yang menjadi sumber bahan pencemar utama, baik pencemar kimia maupun mikrobiologi yang dapat mempengaruhi perairan laut. Penyebab dari pencemaran ini tidak saja berasal dari buangan industri termasuk limbah industri domestik dan limbah pertanian yang kurang memperhatikan aspek pengolahan air limbahnya, tetapi juga kurangnya kesadaran sebagian masyarakat yang membuang kotoran ke dalam sungai (Murtini *et al.*, 2008).

Pencemaran logam berat yang terjadi di perairan Desa Ngemboh adalah logam berat Tembaga (Cu). Logam berat Cu dibutuhkan dalam proses pembentukan hemosianin. Namun logam Cu akan menjadi racun apabila dikonsumsi dalam jumlah berlebihan (Palar, 2004). Untuk mengetahui tingkat pencemaran di suatu daerah dapat digunakan bioindikator berupa organisme tertentu yang khas, bersifat menetap, yang memiliki respon cepat terhadap perubahan lingkungan sebagaimana masuknya bahan pencemar pada lingkungannya, sehingga dapat mewakili keadaan di dalam lingkungan hidupnya. Biota yang dapat digunakan sebagai bioindikator salah satunya yaitu kerang hijau (*Perna viridis*) (Buwono, 2005).

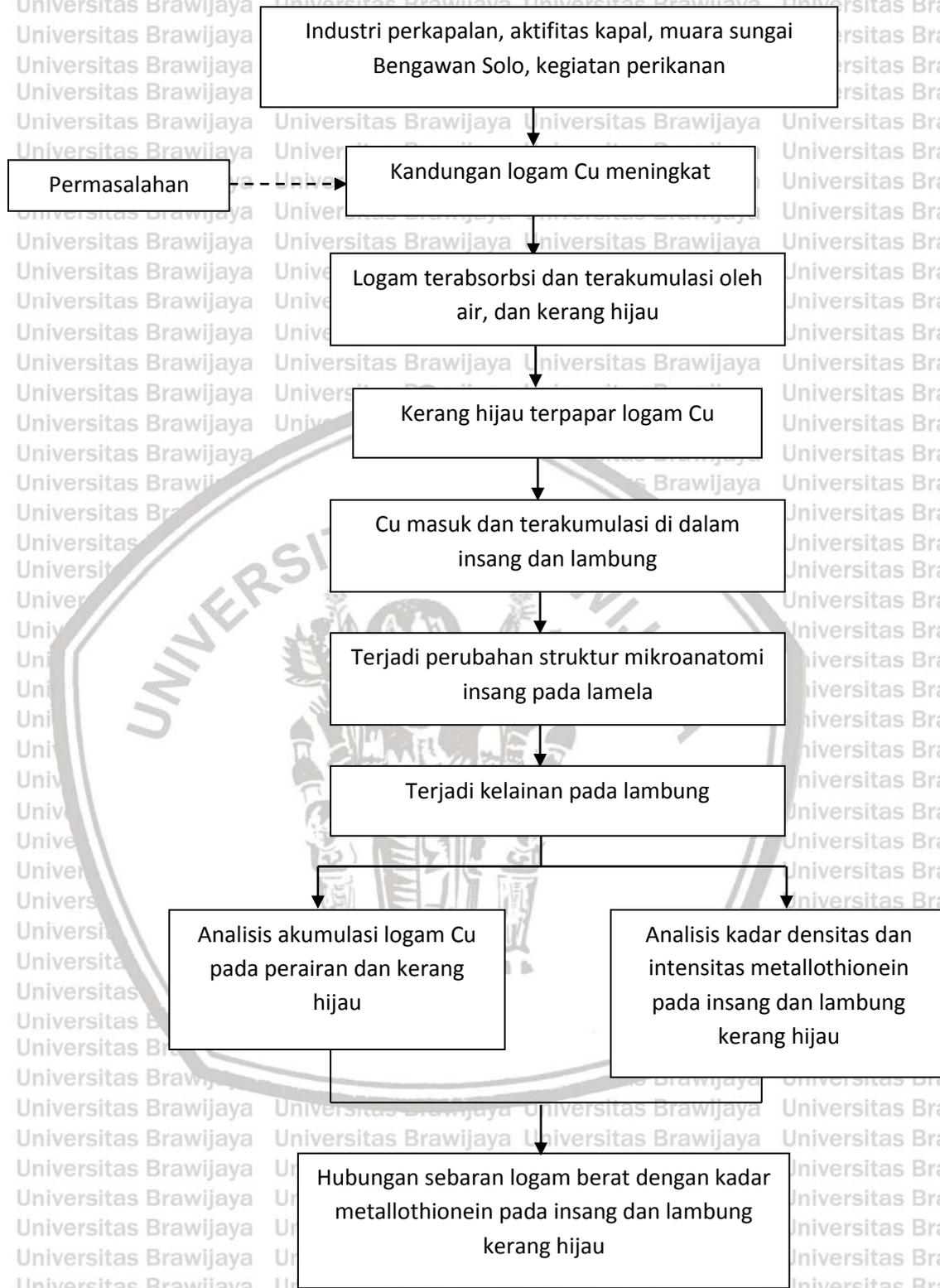
Kerang hijau bernafas dan mendapatkan makanannya dengan menggunakan dua insang. *Cilia* di bagian dalam insang, bergerak bersama-sama, menarik arus air agar masuk melalui katup terbuka dan melalui insang (Barret, 1963). Makanan yang terbungkus lendir, dari insang masuk lambung melalui esophagus. Lambung berfungsi memisahkan makanan dari gulungan lendir. Partikel makanan yang halus mula-mula dicerna oleh amilase untuk dilanjutkan dengan pencernaan intraselluler. (Suwignyo *et al.*, 1998).

Peningkatan konsentrasi logam berat pada batas tertentu akan mempengaruhi organisme di perairan tersebut. Mengingat logam berat dapat terakumulasi oleh air, dan kerang, maka perlu dilakukan identifikasi imunohistokimia kerang hijau terhadap kandungan logam berat. Dengan mengetahui densitas dan intensitas metallothionein pada kerang hijau akibat logam berat, akan diperoleh hasil hubungan kadar logam berat tembaga (Cu) terhadap kerusakan jaringan pada kerang hijau. Oleh karena itu limbah industri yang akan dibuang agar dikelola terlebih dahulu, sehingga tidak merusak lingkungan perairan dan organisme tetap terjaga.

3.2 Kerangka Pikir

Terjadinya proses akumulasi logam berat tembaga (Cu) di perairan dan faktor yang mempengaruhi, berdampak secara langsung terhadap biota yang ada khususnya kerang hijau, yang selanjutnya akan berpengaruh terhadap metallothionein organ insang dan lambung pada kerang hijau.

Kondisi perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik yang tercemar diduga disebabkan oleh industri pembuatan dan perbaikan kapal. Selain itu Sungai Bengawan Solo yang bermuara di Pesisir Pantai Utara Desa Ngemboh, ini juga diduga menjadi penyebab daerah ini menjadi tercemar. Mukhtasor (2007), menjelaskan bahwa pencemaran laut adalah masuknya zat atau energi, secara langsung maupun tidak langsung oleh kegiatan manusia ke lingkungan laut termasuk daerah pesisir pantai, sehingga menimbulkan pengaruh yang merugikan baik terhadap sumber daya alam hayati, kesehatan manusia, gangguan terhadap kegiatan laut contohnya perikanan dan lain-lain. Kerangka konsep penelitian tentang akumulasi logam berat tembaga (Cu) pada kerang hijau sebagai berikut (Gambar 5).



Gambar 5. Kerangka Pikir Penelitian

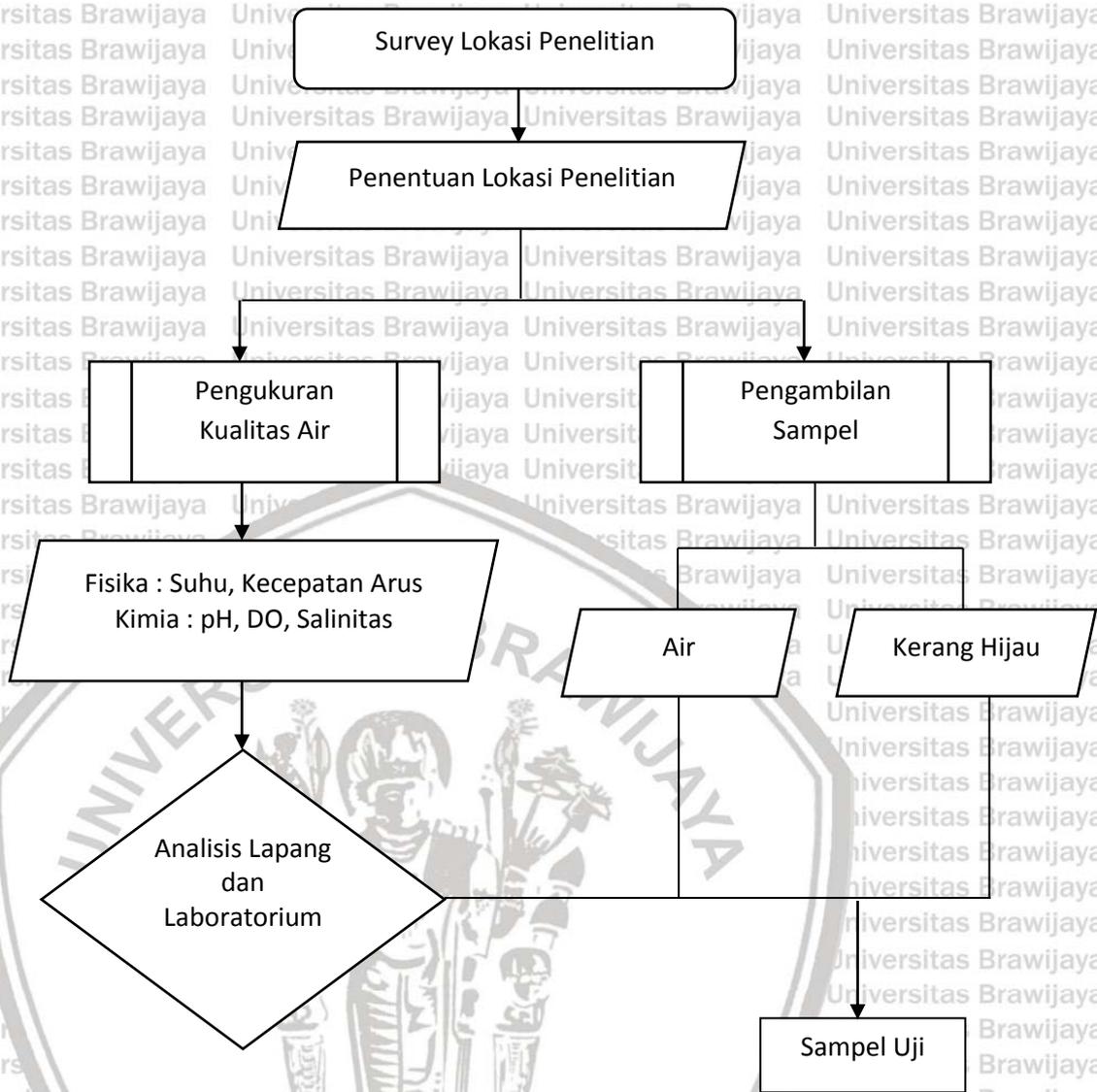
Jenis biota yang potensial terkontaminasi logam berat adalah kekerangan mengingat cara memakan dengan menyaring air (*filter feeder*). Di samping itu, sifat kekerangan ini juga lebih banyak menetap (*sessile*) dan bukan termasuk organisme migratori (Murtini *et al.*, 2008), sehingga biota ini sering digunakan sebagai hewan uji dalam pemantauan tingkat kontaminasi logam berat pada perairan laut.

3.3 Kerangka Operasional

Kerangka operasional penelitian kandungan logam berat tembaga (Cu) pada kerang hijau terdiri dari dua tahap. Penelitian tahap pertama dilakukan pengamatan lapang untuk mengukur kualitas air dan pengambilan sampel. Selanjutnya penelitian tahap kedua dilakukan analisis kandungan logam berat dan imunohistokimia terhadap organ insang dan lambung kerang hijau di laboratorium. Adapun alur operasional penelitian terdiri dari penelitian tahap 1 dan tahap 2.

3.3.1 Penelitian Tahap I

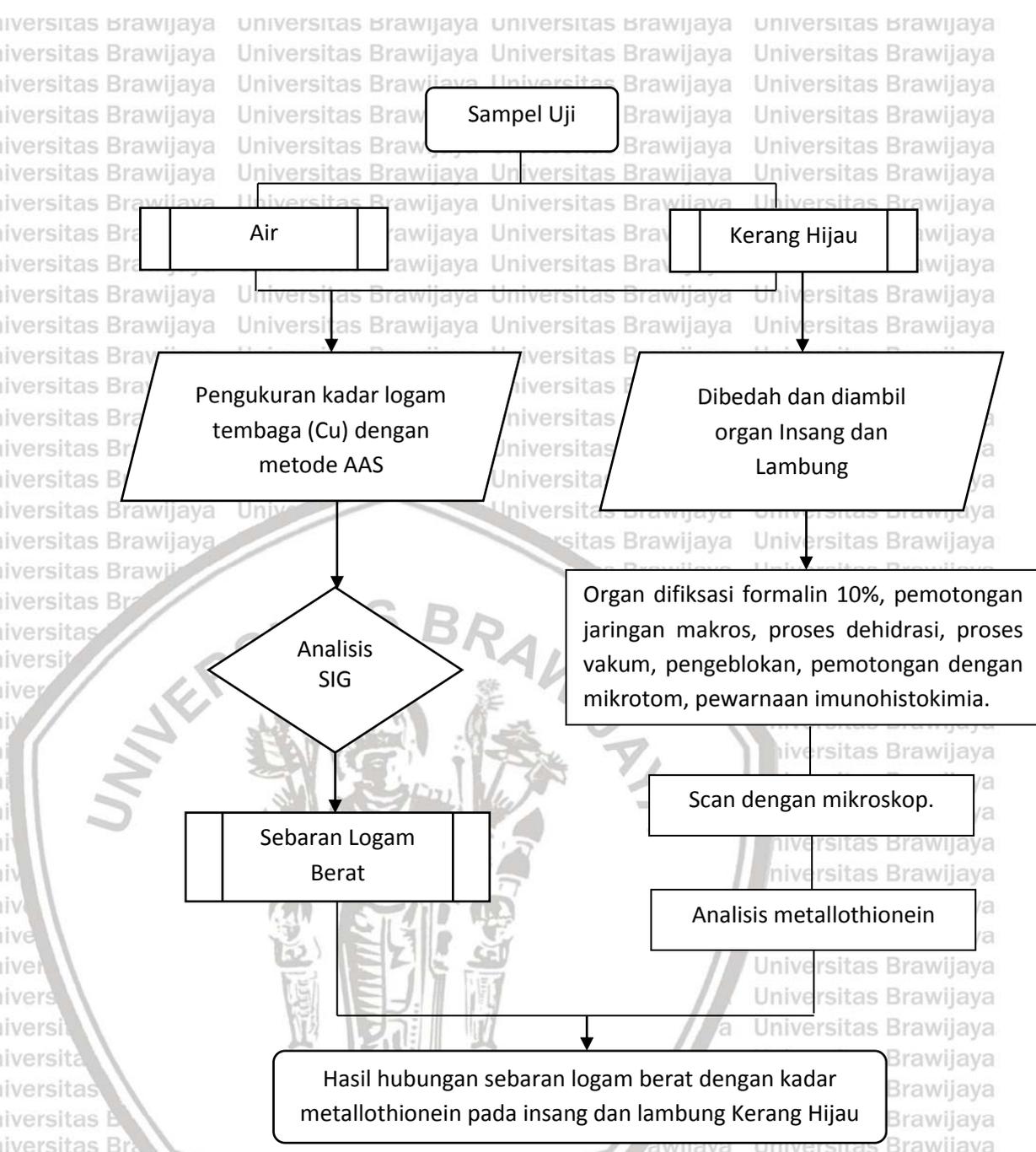
Pada tahap penelitian ini terdiri dari dua tahap penelitian. Penelitian tahap pertama dilakukan dengan menggunakan metode survei untuk menentukan titik-titik pengamatan pada daerah penelitian. Setelah penentuan titik-titik pengambilan sampel maka selanjutnya adalah pengambilan sampel air, dan kerang. Tahap kedua sampel yang telah didapat kemudian dianalisis secara lapang (*In situ*) dan laboratorium. Penelitian tahap I dapat dilihat pada gambar berikut (Gambar 6)



Gambar 6. Kerangka Operasional Penelitian Tahap I

3.3.2 Penelitian Tahap II

Penelitian tahap II dilakukan analisis dan pengamatan secara laboratorium yaitu analisis sampel air, dan kerang di laboratorium. Tahapan penelitian ini meliputi pengukuran logam berat pada air, dan kerang, analisis kualitas air dan analisis imunohistokimia pada organ kerang hijau. Diagram alur operasional pada penelitian tahap II ini dapat dilihat sebagai berikut (Gambar 7).



Gambar 7. Kerangka Operasional Penelitian Tahap II

3.4 Kebaharuan Penelitian

Penelitian – penelitian terdahulu yang dilakukan sebelum penelitian ini antara lain adalah pada Tabel 1. sebagai berikut.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil
1.	Aminin, 2018	Respon Protein Metallothionein pada Keong Tutut (<i>Filopaludina javanica</i> v. d Buach 1844) Terhadap Penurunan Kadar Pb dengan Cara Penggelontoran	Kadar Pb yang mengalami penggelontoran turun diikuti dengan kandungan metallothionein yang juga mengalami penurunan.
2.	Harsono, 2015	Densitas dan intensitas metallothionein yang terekspresi pada insang tiram (<i>Crassostrea iredalei</i>) di Pantai Talang Siring, Kabupaten Pamekasan, Madura.	Kadar intensitas dan densitas metallothionein pada insang tiram <i>Crassostrea iredalei</i> memiliki korelasi yang sangat kuat dengan logam berat.
2.	Rumahlatu, et al., 2012.	Kadmium dan efeknya terhadap ekspresi protein metallothionein pada <i>Deadema setosum</i> (Echinoidea; Echinodermata)	Ekspresi protein metallothionein pada gonad, usus, dan hepar menunjukkan perbedaan morfologi sel dan warna kecoklatan pada sel yang mengandung metallothionein.

Berdasarkan hal tersebut, kebaruan yang dihasilkan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Perbedaan logam berat yang dianalisis dalam penelitian.
2. Perbedaan jenis bivalvia yang dianalisis.
3. Perbedaan organ yang dianalisis.

4. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli hingga Agustus 2017 di Desa Ngemboh, Kecamatan Ujung Pangkah, Kabupaten Gresik. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dimana menurut Sangaji dan Sopiah (2010), penelitian ini merupakan metode penelitian yang menjelaskan dan menginterpretasikan obyek penelitian apa adanya, tanpa memberikan perlakuan atau *treatment* dan tanpa memanipulasi variabel penelitian sehingga sering disebut juga penelitian non-eksperimental.

Zulnaidi (2007) menambahkan bahwa metode deskriptif juga dapat diartikan sebagai prosedur pemecahan masalah yang diselidiki dengan menggambarkan atau melukiskan keadaan subyek atau obyek penelitian (seseorang, lembaga, masyarakat dan lain-lain) pada saat sekarang berdasarkan fakta-fakta yang tampak atau sebagaimana adanya. Adapun alat dan bahan yang akan digunakan dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

4.2 Prosedur Penelitian

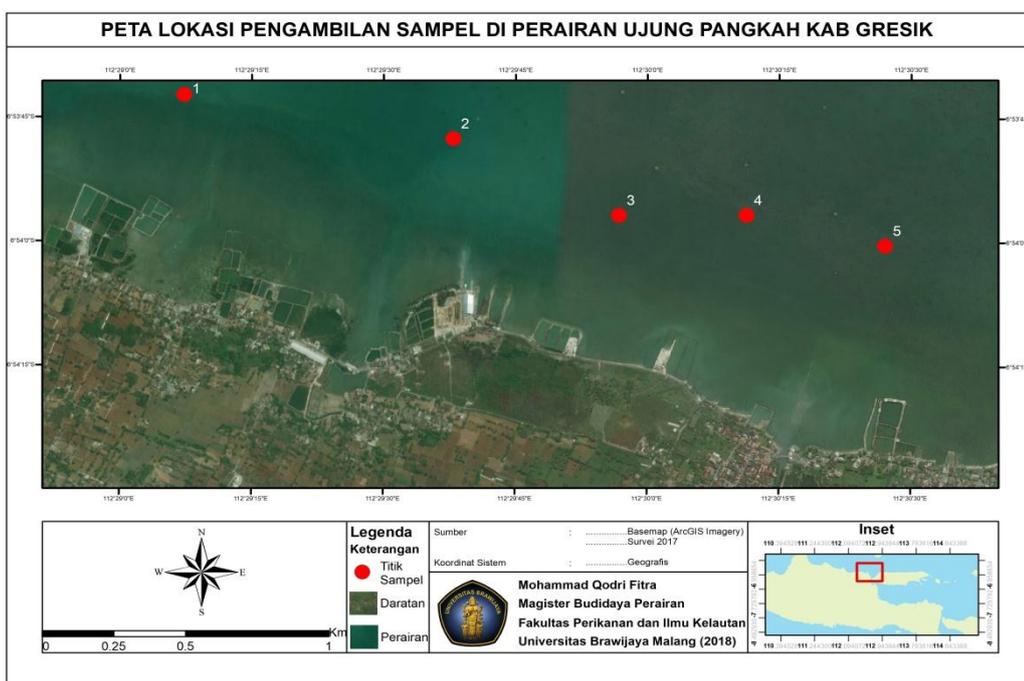
4.2.1 Penentuan Lokasi Penelitian

Tahap awal penelitian ini diawali dengan pengamatan survei lokasi untuk mengetahui kondisi perairan dan juga jenis organisme yang akan diteliti. Dalam survei lokasi ini dilakukan pengamatan lapang dimana sumber-sumber pencemaran berasal dan organisme terbanyak yang mudah ditemukan sehingga bisa mewakili pencemaran logam berat di perairan tersebut. Selanjutnya dilakukan penentuan titik sampel di Perairan Desa Ngemboh secara *purposive sampling*. Menurut Etikan *et al.* (2016), teknik *purposive sampling* atau *judgment*

sampling yaitu penentuan lokasi berdasarkan atas adanya tujuan tertentu dan sesuai dengan pertimbangan peneliti sendiri sehingga mewakili populasi.

Penentuan lokasi titik sampel ditentukan secara terpilih atau ditetapkan bahwa di titik tersebut terdapat logam berat yang tercemar yang berasal dari kegiatan industri maupun masyarakat setempat, dilakukan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) sebanyak lima titik pengambilan sampel.

Adapun lokasi penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Lokasi Titik Pengambilan Sampel

Titik sampel 1 terletak di daerah dekat Pantai Dalegan dengan titik koordinat $6^{\circ} 53' 57, 7''$ S dan $112^{\circ} 29' 45, 4''$ E. Lokasi ini selain berdekatan dengan lokasi pantai Dalegan melainkan juga berdekatan dengan saluran irigasi persawahan. Perairan ini dipengaruhi oleh buangan limbah hasil pertanian dan kapal yang bersandar. Kondisi pada perairan ini berwarna biru jernih.

Titik sampel 2 terletak di daerah pemukiman masyarakat sekitar yang berdekatan dengan budidaya kerang hijau. Titik koordinat di wilayah ini yaitu $6^{\circ} 53' 59, 5''$ S dan $112^{\circ} 30' 12, 8''$ E. Perairan ini dipengaruhi oleh buangan limbah

dari rumah tangga maupun kegiatan nelayan sekitar. Kondisi perairan pada lokasi ini arus air cenderung bergelombang dan berwarna biru jernih.

Titik sampel 3 terletak di daerah industri pembuatan dan perbaikan kapal, dengan titik koordinat $6^{\circ} 53' 20, 1''$ S dan $112^{\circ} 29' 42, 9''$ E. Selain itu pada lokasi ini biasa digunakan sebagai tempat sandar kapal nelayan. Wilayah perairan ini dipengaruhi oleh buangan limbah industri dan kegiatan nelayan di sekitar.

Kondisi perairan di lokasi ini arus air sedikit bergelombang dan warna perairan sedikit kecoklatan.

Titik sampel 4 berada di sekitar wilayah buangan sungai Ngemboh dengan titik koordinat $6^{\circ} 53' 16, 2''$ S dan $112^{\circ} 29' 49, 4''$ E. Perairan ini dipengaruhi juga oleh buangan limbah sungai irigasi dan kapal-kapal nelayan yang bersandar. Kondisi perairan berwarna biru kehijauan dan arus air sedikit bergelombang.

Titik sampel 5 berada di dekat muara sungai Bengawan Solo dengan titik koordinat $6^{\circ} 53' 57, 1''$ S dan $112^{\circ} 29' 36, 0''$ E. Kualitas air di lokasi ini dipengaruhi oleh buangan limbah yang dialirkan di sungai Bengawan Solo. Kondisi perairan di lokasi ini arus air sedikit bergelombang dan warna perairan biru jernih.

4.2.2 Teknik Pengambilan Sampel

a. Air laut

Pertama yang dilakukan adalah yaitu disiapkan botol polyetilen yang akan digunakan dalam pengambilan sampel air laut, lalu dimasukkan aquades untuk mensterilkan botol polyetilen. Setelah itu, botol polyetilen dikeringkan kemudian ditutup dan diberi label dengan menggunakan kertas label.

Langkah-langkah pengambilan sampel air laut yaitu dibilas botol polyetilen 500 ml dengan air lokal. Kemudian botol polyetilen dimasukkan ke dalam perairan ± 5 cm dengan ketentuan semua bagian botol terendam air dan dalam keadaan tertutup kemudian dibuka tutup botol di dalam perairan dan diisi

dengan. air lokal hingga penuh, lalu ditutup botol polyetilen di dalam perairan.

Ditunggu 10 menit lalu dilakukan pengambilan sampel kedua dan seterusnya.

Setelah diperoleh tiga sampel air laut, maka ketiga sampel dimasukkan ke dalam

ember 5 liter dan dikomposit dengan menggunakan botol polyetilen 1 liter.

Setelah diperoleh sampel air laut, sampel dimasukkan ke dalam cool box dan

diberi es balok karena diasumsikan dengan pemberian es balok ini dapat

mengkubasi plankton yang terdapat di dalamnya agar tidak bermetabolisme

dan nilai kandungan organiknya tetap stabil. Selanjutnya dilakukan pengamatan

secara visual terhadap kondisi perairan dan dicatat hasilnya. Pengambilan

sampel dilakukan pada pagi hari di minggu kedua pada bulan Juli dan Agustus

masing-masing tiga kali pada setiap titik pengambilan. Pengambilan sampel air

laut ini dilakukan dengan prosedur yang sama pada setiap lokasi titik

pengamatan.

b. Kerang hijau

Tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan sampel kerang hijau (*Perna*

viridis) adalah persiapan alat dan bahan dan pengambilan sampel. Pengambilan

sampel dilakukan pada pagi hari di minggu kedua pada bulan Juli dan Agustus.

Pertama disiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk pengambilan

sampel kerang hijau (*Perna viridis*) yaitu jaring dan kantong plastik. Kemudian

diberi label kantong plastik dengan menggunakan kertas label.

Pengambilan sampel kerang hijau (*Perna viridis*) dilakukan dengan

menggunakan jaring. Langkah-langkah pengambilan sampel kerang hijau (*Perna*

viridis) yaitu jaring dimasukkan ke dasar perairan kemudian dipisahkan dengan

bagian bambu yang ditancap. Kerang hijau (*Perna viridis*) yang tersaring

dimasukkan ke kantong plastik sesuai dengan label. Setiap titik sampel diambil

50 butir dengan ukuran kerang hijau yang akan diambil sebesar ukuran 7-8 cm

atau setara dengan ukuran konsumsi.

4.2.3 Sebaran Ukuran Sampel Kerang

Hasil kerang yang diperoleh dalam pengambilan sampel penelitian di Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik terdapat ukuran yang bervariasi. Akan tetapi hanya ukuran konsumsi 7-8 cm yang akan diambil guna sebagai bahan dalam penelitian ini. Masing-masing titik sampel diambil 3 untuk diukur panjang kerang. Sehingga diperoleh hasil ukuran kerang pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Ukuran Sebaran Kerang Hijau

Titik Sampel	Ukuran Kerang Hijau			Rerata
	1	2	3	
1	7.9	7.8	8	7.90
2	7.8	7.9	8	7.90
3	8.2	8.4	8.3	8.30
4	8.6	8.7	8.8	8.70
5	8.5	8.4	8.4	8.43

4.2.4 Analisis Logam Berat Cu

a. Prosedur Analisis Logam Berat Cu pada Sampel Air

Sampel air yang terdapat dalam botol polyetilen dilakukan pengawetan dengan ditetesi HNO₃. Analisis logam berat Cu dilakukan di laboratorium dengan menggunakan metode *Atom Absorbtion Spectrofotometer* (AAS). Adapun langkah prosedur penggunaan metode AAS adalah sebagai berikut :

- 1) Mengambil sampel air sebanyak 250ml ke dalam botol polyetilen.
- 2) Menyaring 100 ml contoh uji secara duplo dengan saringan membran berpori, air saringan merupakan sampel uji.
- 3) Memasukkan sampel uji ke dalam tabung reaksi masing-masing sebanyak 20ml.
- 4) Memasukkan sampel uji satu persatu ke dalam alat AAS melalui pipa kapiler.
- 5) Mengukur sampel dengan metode AAS.

b. Analisis Logam Berat Cu pada Sampel Kerang

Penentuan ion Cu terlarut di perairan diukur menggunakan metode yang biasa digunakan oleh Laboratorium Jasa Tirta, yaitu sebagai berikut:

- 1) Mengambil air sampel dengan pipet volume 50 ml kemudian masukkan ke dalam erlenmeyer 100 ml.
- 2) Menambahkan 5 ml aquaregia, lalu panaskan di atas kompor listrik sampai asat kemudian dinginkan.
- 3) Menambahkan 10 ml HNO_3 2,5N, panaskan hingga mendidih kemudian dinginkan.
- 4) Menyaring sampel yang sudah didinginkan ke labu ukur 50 ml, lalu menambahkan aquades sampai tanda batas, kemudian dihomogen.
- 5) Membaca sampel dengan menggunakan AAS memakai lampu Katoda Cu hingga diperoleh hasil.

4.2.5 Pengamatan Histopatologi

Pada penelitian ini selanjutnya dilakukan pembuatan preparat dan terhadap jaringan insang dan lambung kerang hijau. Menurut Linde dan Vazquez (2006), tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Tahap Pengambilan Sampel

- Sampel kerang hijau dibuka bagian cangkang dan diambil bagian insang dan lambung menggunakan penjepit atau sectio set.
- Memasukan sampel ke dalam kantong plastik dengan diberi es batu (maksimum 4 jam untuk proses homogenasi).
- Memasukkan sampel pada suhu -20°C apabila sampel akan dihomogenasikan lebih dari 4 jam.

2. Tahap Homogenasi

- Menggerus jaringan yang sudah didinginkan dalam mortar dan menambahkan 3 ml buffer homogenisasi (0,5 M sukrosa, 20 mM Tris-HCl buffer, pH 8.6, mengandung 0,01 % β -mercaptoethanol) dalam plastik atau tabung kaca.
- Menghomogenasi jaringan dengan menggunakan homogenizer jaringan.
- Menambahkan Aliquot (larutan induk) (3 ml) ke dalam homogenate.
- Sebagai kontrol, jumlah yang diketahui dari standar metallothionein untuk mengkalibrasi hasil sampel yang diperoleh. Aliquot dapat disimpan pada suhu -20°C .

3. Tahap Ekstraksi

- Mensentrifugasi homogenate pada 30.000 g atau 10351 rpm selama 20 menit untuk mendapatkan supernatant yang mengandung metallothionein.
- Menambahkan 1,05 ml etanol absolute dingin (-20°C) dan 80 ml kloroform per 1 ml supernatan yang dihasilkan.
- Mensentrifugasi sampel dingin (pada 0–4°C) pada 6000 g atau 4269 rpm selama 10 menit.
- Menambahkan 3 ml etanol dingin pada supernatant yang dihasilkan dan disimpan pada suhu -20°C selama 1 jam.
- Langkah analisis bisa berhenti saat ini.

4. Tahap Pemurnian dan Kuantifikasi Metallothionein

- Mensentrifugasi supernatant pada 6000 g atau 4269 rpm selama 10 menit.
- Mencuci pelet yang dihasilkan dengan (87 ml) etanol : (1 ml) kloroform : (12 ml) homogenisasi penyangga.
- Mensentrifugasi lagi pada 6000 g atau 4269 rpm selama 10 menit.
- Mengeringkan di bawah aliran gas nitrogen untuk menyelesaikan penguapan.
- Meresuspended pelet kering dalam 300 ml dari 5 mM Tris-HCL, 1 mM EDTA, pH 7.
- Mensuspensikan fraksi metallothionein menjadi 4,2 ml 0,43 mM 5,5 dithiobis (asam nitrobenzoic) dalam buffer fosfat 0,2 M, pH 8.
- Mendinginkan selama 30 menit pada suhu kamar untuk mengurangi konsentrasi sulfhidril.

4.2.6 Perhitungan Densitas dan Intensitas

a. Prosedur analisis perhitungan densitas metallothionein dapat dilakukan

sebagai berikut :

- olyVIA
 1. Menyalakan komputer dan buka aplikasi olyVIA.
 2. Membuka scan pada gambar file dibuka.
 3. Memilih gambar yang akan dihitung menggunakan image navigator.
 4. Memilih copy to clipboard untuk memindah gambar.

- Paint

1. Membuka aplikasi paint pada layar komputer.
2. Memilih copy display to clipboard untuk memindah gambar.
3. Memilih paste pada paint.
4. Memilih save untuk menyimpan gambar.

- ImageJ

1. Membuka browser pada layar komputer.
2. Mengunduh ITCN 1.6 jar.
3. Memilih plugin ITCN di program files > imageJ > plugins > paste.
4. Membuka imageJ.
5. Memilih file gambar yang akan dianalisis.
6. Memilih menu edit > invert, untuk mengetahui bagian yang akan dihitung.
7. Memilih menu image > type > 8bit, untuk mengubah gambar menjadi grayscale.
8. Memilih menu plugins > ITCN > count.
9. Memilih result untuk mendapatkan hasil jumlah metallothionein pada gambar.

b. Prosedur analisis perhitungan intensitas metallothionein dapat dilakukan.

sebagai berikut :

- olyVIA

1. Menyalakan komputer dan buka aplikasi olyVIA.
2. Melakukan scan pada gambar file dibuka.
3. Memilih gambar yang akan dihitung menggunakan image navigator.
4. Memilih menu copy to clipboard untuk memindah gambar.

- Paint

1. Membuka aplikasi paint pada layar komputer.
2. Memilih menu copy display to clipboard untuk memindah gambar.

3. Memilih menu paste pada paint.

4. Memilih menu save untuk menyimpan gambar.

- imageJ

1. Membuka aplikasi imageJ pada layar komputer.

2. Memilih menu file > open > pilih gambar yang akan dianalisis.

3. Memilih menu analyze > set measurement > centang Area, Mean Gray Value, Integrated Density, Stdev dan Display label, Redirect ke gambar yang akan dianalisis > OK.

4. Memilih menu "OVAL", elliptical or brush selections.

5. Mengarahkan ke gambar, untuk menyamakan lingkaran di gambar yang lain perhatikan navigator bar, catat weight dan height.

6. Menekan M pada keyboard untuk mengetahui hasil ukuran warna.

4.3 Analisis Data

4.3.1 Analisis Kandungan Logam Berat

- Perhitungan Konsentrasi Logam Berat pada Sampel Air

Konsentrasi logam berat pada sampel air dapat ditentukan atau dihitung secara langsung. Pengukuran logam berat menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Nilai absorbansi yang terbentuk dan telah masuk ke dalam komputer akan dapat dihitung dengan kurva konsentrasi dan rumus menurut

Supriatno dan Lelifajri (2009), adalah sebagai berikut :

$$\text{Konsentrasi logam berat (mg/L)} = \frac{\text{Nilai Absorbansi}}{\text{Pengenceran}}$$

- Perhitungan Konsentrasi Logam Berat pada Sampel Kerang

Konsentrasi logam berat pada sampel Kerang dapat ditentukan atau dihitung secara langsung. Pengukuran logam berat menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Nilai absorbansi yang terbentuk dan telah masuk ke dalam komputer akan dapat dihitung dengan kurva konsentrasi dan rumus menurut Supriatno dan Lelifajri (2009), adalah sebagai berikut :

$$\text{Konsentrasi logam berat } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \left(\frac{\text{Nilai Absorbansi} \times 10}{\text{Pengenceran}} \times \frac{10}{\text{Berat sampel (gram)} \times 10^2} \times 100\% \right) \times 10^4$$

4.3.2 Perbandingan dengan Baku Mutu

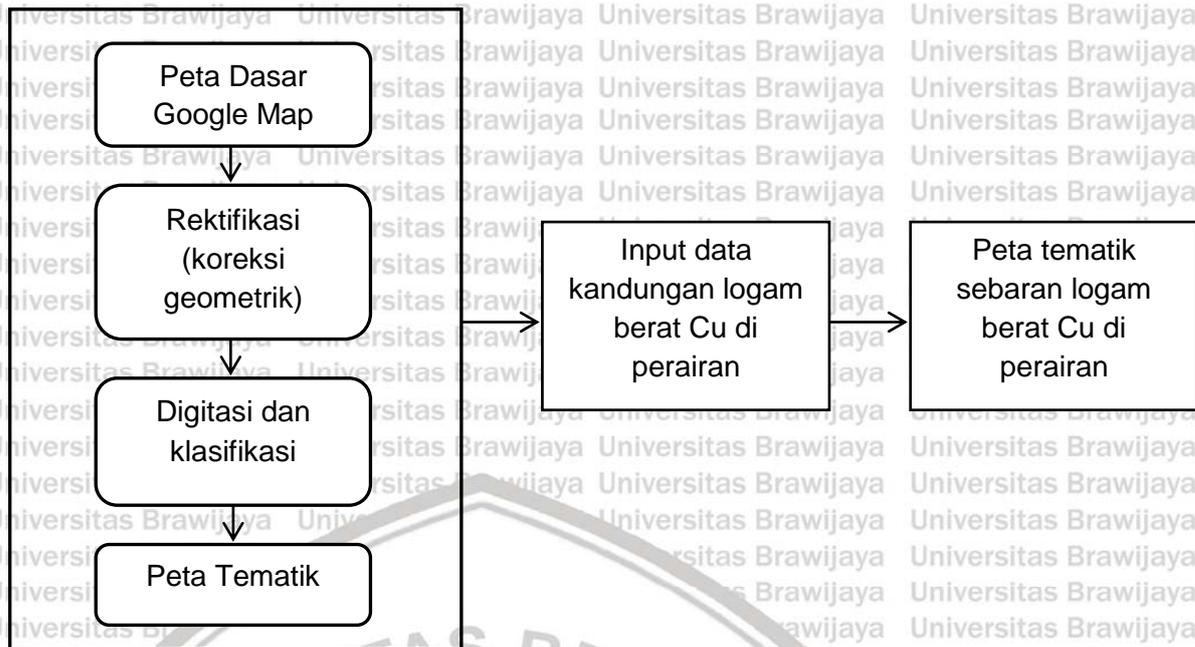
Data logam berat yang terkumpul akan dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat yang ada di Perairan Desa Ngemboh. Selanjutnya dibandingkan dengan tabel standar baku mutu perairan berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.51 Tahun 2004 Lampiran II tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air untuk Wisata Bahari dan konsentrasi logam berat pada kerang hijau (*Perna viridis*) menggunakan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.51 Tahun 2004 Lampiran III tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air untuk Biota Laut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Baku Mutu Logam Berat Cu untuk Air dan Biota Laut.

Baku Mutu	Logam Berat Cu	
	Air Laut (mg/L)	Kerang Hijau (mg/ L)
Baku Mutu Lampiran II (Wisata Bahari)	0,050 mg/l	-
Baku Mutu Lampiran III (Biota Laut)	-	5 mg/l

4.3.3 Analisis Sistem Informasi Geografis

Data logam berat Cu pada perairan di bulan Juli dan Agustus di input ke dalam analisis SIG yang terdiri dari beberapa tahap, yakni : (1) pembuatan peta dasar, (2) input data kandungan logam berat Cu dan (3) peta tematik kandungan logam berat Cu. Tahapan analisis kandungan logam berat Cu di Desa Ngemboh dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Tahapan Analisis Sebaran Kandungan Logam Berat

4.3.4 Analisis Kualitas Air

Parameter analisis kualitas air penelitian ini terdiri dari suhu, pH, oksigen terlarut, dan salinitas. Tujuan analisis kualitas air ini untuk mendukung, menunjang serta untuk mengetahui kondisi lingkungan perairan tempat kerang hijau hidup.

1. Suhu

Prosedur pengukuran suhu diukur dengan thermometer digital, adalah sebagai berikut :

- a. Mengkalibrasi pen sensor thermometer digital (Eutech).
- b. Memasukkan pen sensor ke dalam perairan dengan posisi membelakangi matahari.
- c. Menunggu hingga 2-3 menit sampai layar digital menunjukkan skala tertentu.
- d. Membaca skala ketika thermometer di dalam air.
- e. Mencatat hasil.

2. pH

Langkah – langkah yang digunakan untuk mengukur pH meter sebagai berikut:

- a. Menyiapkan pH (Eutech) meter terlebih dahulu.
- b. Mengkalibrasi pH dengan menggunakan larutan buffer atau aquades.
- c. Menekan tombol “HOLD” pada pH meter untuk pengukuran.
- d. Memasukkan pH meter ke dalam air sampel selama 2 menit.
- e. Mencatat hasil pengukuran.

3. Oksigen Terlarut (DO)

Prosedur yang digunakan untuk mengukur kadar oksigen terlarut dalam perairan :

- a. Menyiapkan DO meter (AZ-8403) terlebih dahulu.
- b. Menstandarisasi DO meter sebelum digunakan dengan aquades
- c. Memasukkan pen ke dalam air dan kemudian lihat angka pada layar DO meter yang menunjukkan nilai dari oksigen terlarut (DO) dengan angka satuan ppm. Setelah dipakai segera dilakukan kalibrasi kembali agar angka pada layar kembali nol.
- d. Mencatat hasil pengukuran.

4. Salinitas

Prosedur pengukuran salinitas dengan refraktometer adalah sebagai berikut :

- a. Mengkalibrasi pen sensor refraktometer digital (Atago).
- b. Mengambil air sampel dan meletakkannya ke pen sensor dengan posisi membelakangi matahari.
- c. Menunggu 2-3 menit sampai layar digital menunjukkan skala tertentu.
- d. Membaca skala ketika pen di dalam air dan mencatat hasil pengukuran.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah perairan Desa Ngemboh yang terletak di Desa Ngemboh, Kecamatan Ujung Pangkah, Kabupaten Gresik.

Secara geografis wilayah Kabupaten Gresik terletak antara 112° sampai 113°

Bujur Timur dan 7° sampai 8° Lintang Selatan. Sebagian besar wilayahnya

merupakan dataran rendah dengan ketinggian 2 sampai 12 meter di atas

permukaan air laut. Hampir sepertiga bagian dari wilayah Kabupaten Gresik

merupakan daerah pesisir pantai, yaitu sepanjang 140km meliputi Kecamatan

Kebomas, Gresik, Manyar, Bungah, Sidayu, Ujung Pangkah, dan Panceng serta

kecamatan Tambak dan Sangkapura yang berada di Pulau Bawean. Sebagian

dari daerah ini adalah hilir aliran Bengawan Solo yang bermuara di pantai utara

Kecamatan Ujung Pangkah, Kabupaten Gresik (BPS Kabupaten Gresik, 2013).

Secara administratif Desa Ngemboh, Kecamatan Ujung Pangkah memiliki

batas wilayah sebelah utara berbatasan dengan Laut Jawa, Sebelah timur

berbatasan dengan Kecamatan Sidayu, sebelah selatan berbatasan dengan

Kecamatan Sidayu, dan sebelah barat berbatasan dengan Kecamatan Panceng.

Sebagian besar penduduk Desa Ngemboh ini bermata pencaharian sebagai

nelayan dan pembudidaya kerang. Luas wilayah Kecamatan Ujung Pangkah

9.483,230 Ha. Memiliki suhu udara rata-rata 28,5 °C, curah hujan rata-rata

sebesar 14, 87mm/tahun (Badan Pusat Statistik Kabupaten Gresik, 2017).

Potensi perikanan laut perairan Desa Ngemboh sebesar 25.190 ton/tahun

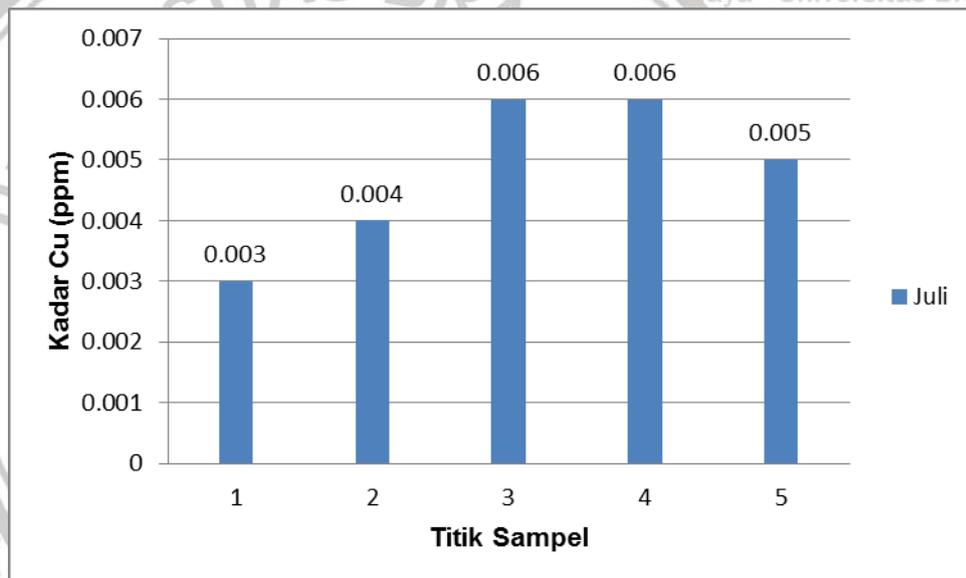
dengan tingkat pemanfaatan sebesar 18190,2 ton. Perairan ini mempunyai

potensi perikanan yang cukup besar, meliputi perikanan laut, tambak, kolam dan

perairan umum yang berupa sungai dan laut (Farida, 1997).

5.2 Logam Berat Cu pada Perairan

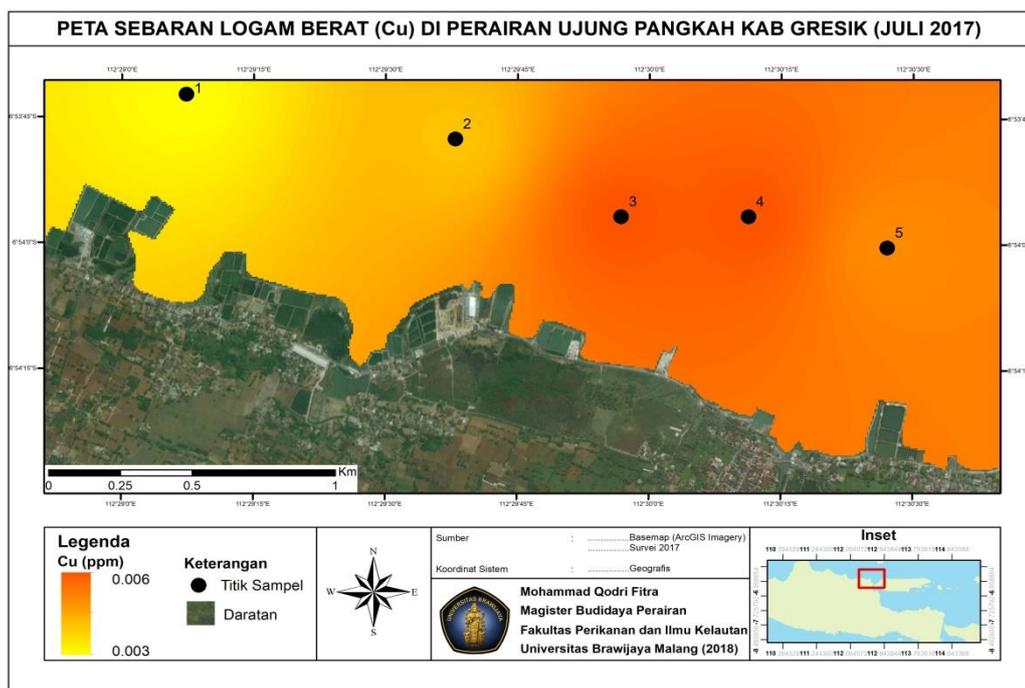
Kadar logam berat Cu pada perairan Desa Ngemboh di 5 titik sampel menunjukkan hasil yang berbeda-beda, hal ini karena adanya perbedaan sumber bahan pencemar dan arus di perairan Desa Ngemboh. Nilai kadar Cu masih dibawah ambang batas maksimum dari Keputusan Menteri, Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 yang telah di ralat pada Nomor 179 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut, dimana baku mutu air laut untuk kandungan Cu pada perairan adalah sebesar 0,008 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kadar logam Cu di perairan Desa Ngemboh pada bulan Juli dan Agustus masih dalam batas baku mutu yang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Kadar Logam Berat Cu pada Air Laut

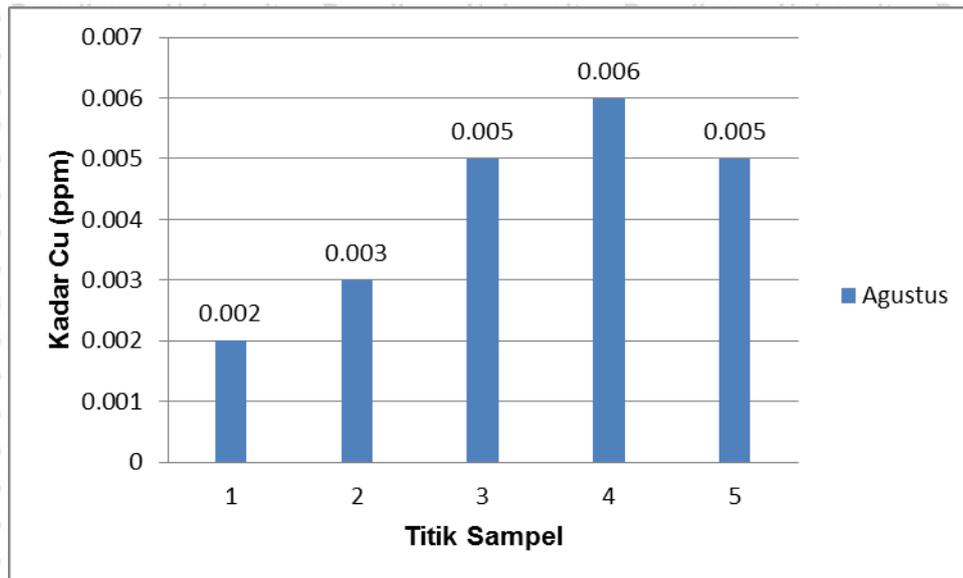
Berdasarkan grafik Gambar 10, kadar Cu dalam air laut dengan nilai tertinggi terdapat pada titik sampel 3 dan titik sampel 4, sedangkan kadar Cu dengan nilai terendah terdapat pada titik 1. Tingginya kadar Cu pada titik sampel 3 dan 4 disebabkan adanya muara sungai Bengawan Solo dan berdekatan dengan pabrik pengecatan kapal sehingga di wilayah ini mengalami peningkatan nilai logam berat Cu meskipun masih di bawah ambang batas baku mutu. Kadar

Cu terendah pada titik sampel 1 dikarenakan jauh dari aktifitas pabrik dan juga aktifitas nelayan sehingga kadar logam berat Cu di daerah ini rendah. Dari hasil grafik Gambar 9, analisis sebaran logam berat Cu dilanjutkan ke dalam analisis Sistem Informasi Geografis (SIG) sehingga *output* yang diperoleh dibuat dalam bentuk peta. Adapun peta yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 11.



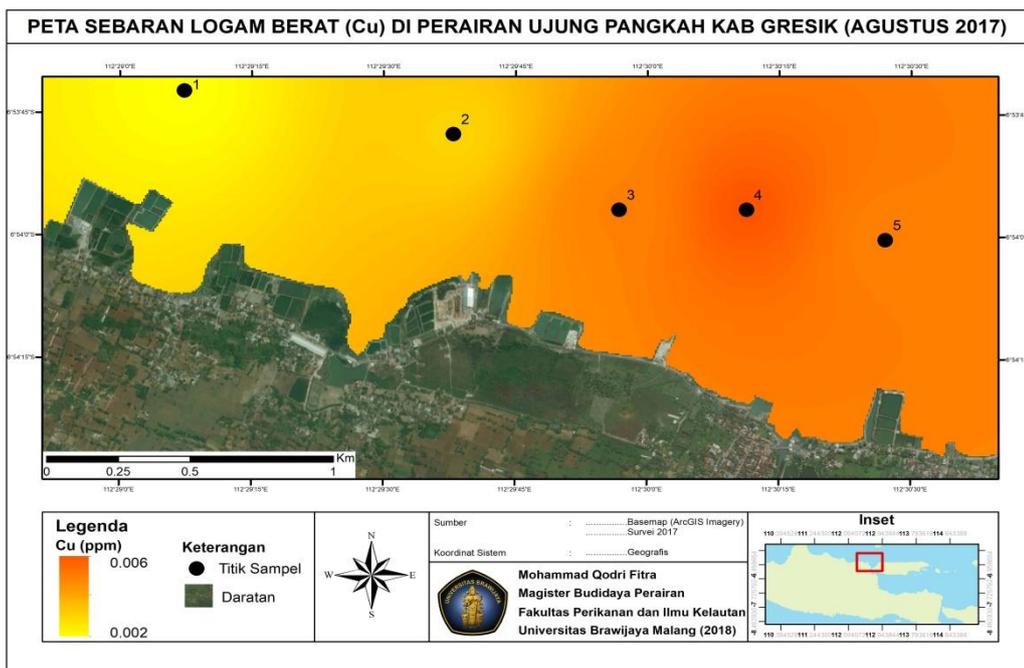
Gambar 11. Peta Logam Berat Cu pada Air di Bulan Juli

Pada peta Gambar 11, dapat dilihat bahwa sebaran logam berat Cu pada perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik di bulan Juli memiliki nilai yang tidak fluktuatif. Terlihat perbedaan warna titik sampel yang lebih banyak mengandung Cu di perairan yaitu pada titik sampel 3 dan titik sampel 4. Sedangkan kadar Cu terendah didapat pada titik sampel 1. Hal ini dikarenakan titik 4 berdekatan dengan pabrik pengecatan kapal dan muara Sungai Bengawan Solo. Pada bulan Agustus kandungan sebaran logam berat Cu dapat dilihat pada Gambar 12 sebagai berikut.



Gambar 12. Kadar Logam Berat Cu pada Air Laut

Kandungan logam berat Cu pada bulan Agustus berdasarkan grafik Gambar 12 yaitu kandungan logam berat Cu pada air laut dengan nilai tertinggi terdapat pada titik sampel 4, hal ini disebabkan karena berdekatan dengan aktifitas pabrik perbaikan kapal dan muara Sungai Bengawan Solo yang terbawa arus hingga ke laut lepas. Sedangkan kandungan logam berat Cu terendah pada titik sampel 1. Hal ini dikarenakan daerah yang jauh dari aktifitas nelayan dan juga aktifitas pabrik. Menurut Magni dan Montani, 2000; Magni *et al.*, 2002, keberadaan material organik, zat hara serta kandungan logam berat diperairan sangat di pengaruhi oleh pasang surut. Oleh karena itu, logam berat yang semula terlarut dalam air sungai diadsorbsi oleh partikel halus (*suspended solid*) dan oleh aliran air sungai dibawa ke muara. Air sungai bertemu dengan arus pasang di muara sungai, sehingga partikel halus tersebut mengendap di muara sungai. Hal inilah yang menyebabkan kadar logam berat muara lebih tinggi dari laut lepas. Dari data grafik logam berat air di bulan Agustus, diperoleh peta hasil sebaran logam berat yang dapat dilihat dalam Gambar 13.



Gambar 13. Peta Logam Berat Cu pada Air di Bulan Agustus

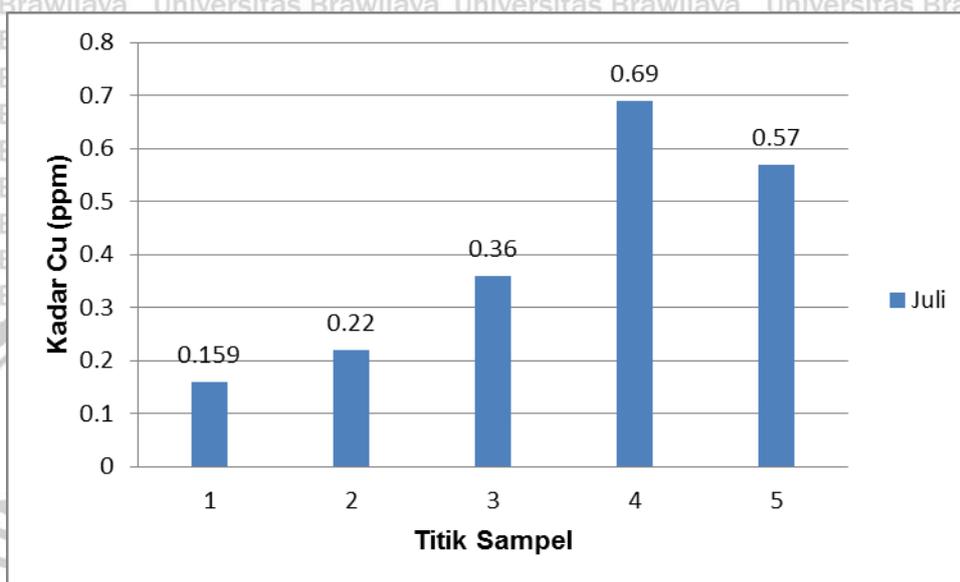
Pada peta Gambar 13 terdapat perbedaan warna pada titik sampel 3 dan 4. Hal ini dikarenakan sumber pencemar terbawa arus ke perairan tersebut meski begitu nilai logam Cu masih dibawah ambang batas yang telah ditentukan.

Banyaknya pencemaran logam berat yang berada pada lingkungan perairan tersebut dapat dipengaruhi oleh sumber potensial logam berat, namun sumber utama pada logam berat Cu yaitu kegiatan kapal nelayan atau pelabuhan, buangan limbah rumah tangga dan limbah industri tembaga (Juniawan *et al.*, 2013). Sitorus (2004), juga menambahkan bahwa bila konsentrasi logam berat tinggi dalam perairan, maka ada kecenderungan konsentrasi logam berat tersebut tinggi dalam sedimen dan akumulasi logam berat dalam tubuh hewan demersal semakin tinggi.

5.3 Logam Berat Cu pada Kerang Hijau

Kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan organisme *filter feeder* karena kemampuannya dalam mendapatkan makanan dengan cara menyaring air yang ada di sekitar tempat hidupnya. Menurut Ramakritinan *et al.*, (2012), logam berat

yang masuk kedalam perairan dapat terakumulasi oleh tubuh binatang salah satunya bivalvia. Bivalvia ini biasa digunakan sebagai organisme uji kadar logam berat dikarenakan sifatnya yang *filter feeder* dan *sedentary*. Kerang hijau yang diambil di kawasan perairan Desa Ngemboh memiliki kandungan nilai Cu yang berbeda-beda sebagaimana pada Gambar 14 berikut.

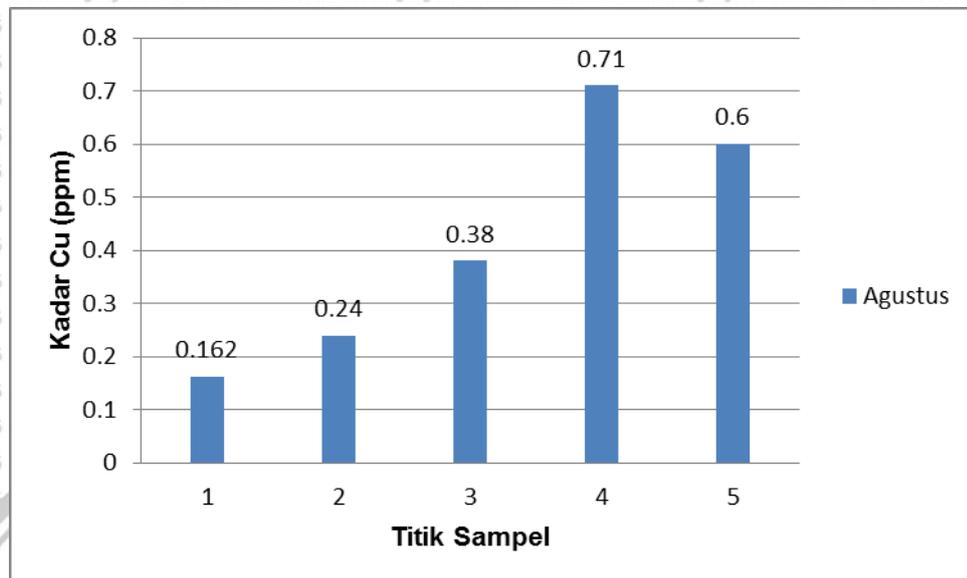


Gambar 14. Kadar Logam Cu pada Kerang Hijau

Berdasarkan grafik Gambar 14, pada bulan Juli kandungan nilai logam berat Cu pada kerang hijau tertinggi didapat pada titik sampel 4. Hal ini disebabkan karena lokasi pada titik sampel 4 yang berdekatan dengan aktifitas pabrik dan muara sungai Bengawan Solo sehingga tingkat pencemaran lebih tinggi. Sedangkan nilai terendah terdapat pada titik sampel 1 dimana pada titik sampel 1 ini berjauhan dengan aktifitas nelayan maupun aktifitas industri.

Hal ini dipertegas oleh pernyataan Fitriyah (2007), bahwa logam berat yang berada di dalam tubuh kerang selain berasal dari air laut juga berasal dari makanan kemudian mengalami biomagnifikasi. Sebagian besar makanan kerang adalah plankton, detritus dan mikroorganisme yang lain. Pada bulan Agustus

kandungan logam Cu pada kerang hijau di Perairan Desa Ngemboh juga memiliki nilai yang berbeda-beda. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Kadar Logam Berat Cu pada Kerang Hijau

Kandungan logam berat Cu pada kerang hijau di bulan Agustus dengan nilai tertinggi terdapat pada titik sampel 4 sebesar 0,71 ppm. Hal ini sama dengan grafik pada bulan Juli bahwa nilai tertinggi kandungan logam berat Cu pada kerang hijau juga pada titik sampel 4. Sedangkan nilai terendah terdapat pada titik sampel 1 yang mana bulan Juli juga nilai terendah didapat pada titik sampel 1.

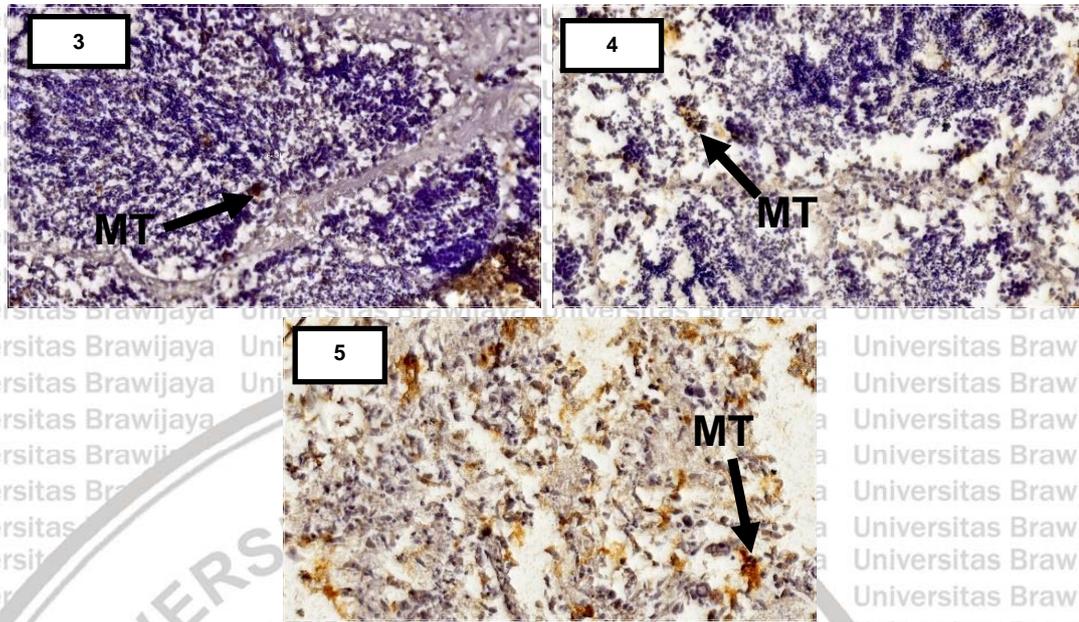
Berdasarkan grafik Gambar 15 menunjukkan bahwa kandungan logam berat Cu pada kerang hijau di perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik masih dalam batas baku mutu yang ditetapkan. Hal ini mengacu pada pernyataan Erfiandika *et al.*, (2014), yang mengatakan bahwa data dari Badan Standarisasi Nasional yang mengacu pada SK Dirjen BPOM No. 03725/B/SK/VII/89 mengenai batas maksimum cemaran logam dalam makanan menetapkan batas maksimum cemaran logam untuk Cu adalah 5 ppm.

Kandungan logam berat dalam kerang hijau (*perna viridis*) relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan kandungan logam berat pada perairan. Hal ini menunjukkan tingkat akumulasi kerang hijau terhadap logam berat cukup tinggi. Logam berat yang masuk dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan lalu diserap oleh kerang yang ada di perairan tersebut. Dalam pernyataan Murtini dan Rosmawaty (2006), menjelaskan bahwa kerang adalah salah satu biota yang paling efisien dalam mengakumulasi logam berat. Hal ini dikarenakan, kerang yang hidup di perairan bergerak sangat lambat, dan makanannya berupa detritus, sehingga peluang masuk logam berat ke dalam tubuh sangat besar. Sitorus (2004), juga menambahkan bahwa konsentrasi logam berat tinggi dalam air, ada kecenderungan konsentrasi logam berat tersebut tinggi dalam sedimen, dan akumulasi logam berat dalam tubuh hewan demersal juga semakin tinggi.

5.4 Ekspresi Metallothionein pada Insang dan Lambung Kerang Hijau (*Perna viridis*) dengan Metode Imunohistokimia.

Imunohistokimia diartikan sebagai suatu metode untuk mendeteksi suatu molekul yang ada dalam jaringan dengan menggunakan antibodi poliklonal atau monoklonal terhadap molekul yang akan dideteksi (merupakan reaksi antigen antibodi) dan dapat memberikan gambaran kualitatif dari intensitas warna yang terbentuk maupun gambaran kuantitatif. Teknik imunohistokimia dapat digunakan untuk mempelajari distribusi enzim yang spesifik pada struktur sel intak (normal/lengkap), mendeteksi komponen sel, biomakromolekul seperti protein, karbohidrat (Balqis *et al.*, 2011). Ekspresi metallothionein pada insang dan lambung kerang hijau dengan metode imunohistokimia yang terdapat pada perairan Desa Ngemboh Kabupaten Gresik menunjukkan bahwa metallothionein yang terekspressi pada gambar berupa blok-blok warna coklat. Gambaran

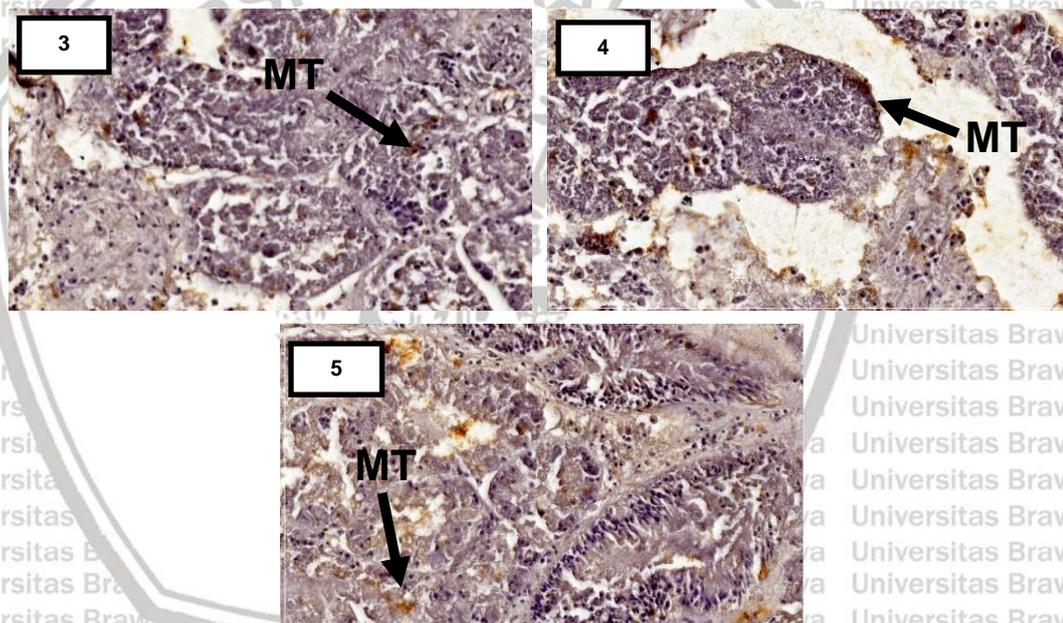
imunohistokimia pada insang kerang hijau (*Perna viridis*) dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Hasil Ekspresi Metallothionein (MT) Insang Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Titik Sampel 3, 4, dan 5.

Ekspresi metallothionein pada insang kerang hijau menunjukkan perbedaan morfologi sel. Pada titik sampel 3, sel yang mengalami ekspresi metallothionein menunjukkan blok-blok warna coklat dalam kadar yang sedikit. Ekspresi metallothionein hanya terlihat pada satu lokasi. Selanjutnya pada titik sampel 4, sel yang mengalami ekspresi metallothionein terlihat lebih banyak menyebar. Meskipun begitu kondisi ekspresi metallothionein masih terlihat sedikit. Kemudian pada titik sampel 5, menunjukkan perbedaan morfologi sel. Adanya perbedaan morfologi ini disebabkan ekspresi metallothionein yang terlihat menyebar lebih merata dibanding dengan titik sampel lain. Hal ini mengindikasikan bahwa pada logam berat Cu terakumulasi pada organ insang kerang hijau pada titik sampel 5 lebih tinggi. Tingginya akumulasi logam pada titik 5 disebabkan bahwa faktor kemampuan kerang itu sendiri dalam menyerap logam berat yang dekat dengan muara sungai Bengawan Solo. Dalam

pernyataan Soares *et al.*, (2011), Akumulasi dalam tubuh organisme air dipengaruhi oleh konsentrasi bahan pencemar dalam air, kemampuan akumulasi, sifat organisme (jenis, umur dan ukuran) dan lamanya pernapasan. Hal ini dipertegas oleh pernyataan Suyanto *et al.*, (2010), menyatakan bahwa logam berat yang masuk ke dalam jaringan tubuh melalui beberapa jalan yaitu saluran pernapasan (insang), pencernaan (makanan), dan penetrasi kulit yang diabsorpsi oleh darah dan didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh. Selanjutnya ekspresi metallothionein pada lambung kerang hijau pada perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Ekspresi Metallothionein (MT) Lambung Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Titik Sampel 3, 4, dan 5.

Ekspresi metallothionein pada lambung kerang hijau juga terlihat muncul dan berwarna coklat. Kandungan logam berat yang berada di dalam lambung terjadi pada saat kerang hijau menyaring air yang mengandung bahan pencemar masuk ke dalam tubuh, selanjutnya di distribusikan ke seluruh tubuh melalui aliran darah (haemosit) dan akhirnya dapat terakumulasi di organ seperti

lambung, otot dan lain-lain. Pada titik sampel 3 ekspresi metallothionein terlihat pada titik-titik tertentu warna coklat yang masih sedikit. Ekspresi ini juga sama yang terlihat pada insang kerang hijau di titik sampel 3. Kemudian pada titik sampel 4, menunjukkan ekspresi metallothionein terlihat lebih banyak dan menyebar. Diduga pada titik sampel 4, akumulasi logam berat sudah masuk ke dalam organ lambung. Selanjutnya pada titik sampel 5, ekspresi metallothionein terlihat warna coklat tidak sebanyak yang di insang. Diduga hal ini disebabkan karena akumulasi logam berat masih ada pada insang.

Proses terbentuknya warna coklat melalui prosedur imunohistokimia menurut Ramos-Vara (2005), adalah prinsip metode ini yaitu peroksidase dimana antigen yang ada pada jaringan berikatan dengan antibodi primer. Antibodi primer yang terikat dengan antigen tersebut kemudian diikatkan pula dengan antibodi sekunder yang telah ditandai oleh enzim peroksidase. Penambahan substrat yang berisi kromogen dan H_2O_2 akan memunculkan sebuah endapan berwarna coklat dan H_2O . Endapan coklat merupakan hasil penguraian substrat (kromogen dan H_2O) oleh enzim peroksidase. Warna coklat yang muncul menandakan reaksi positif (+), yang artinya didalam jaringan terdapat antigen. Apabila di jaringan tersebut tidak terdapat antigen, maka tidak akan muncul warna coklat. Imunohistokimia merupakan pemeriksaan imunopatologik yang sangat potensial untuk memeriksa antigen secara lokal di jaringan yang menggunakan antibodi spesifik. Pemeriksaan imunohistokimia mempunyai kemampuan yang tinggi untuk memisahkan, menseleksi, dan bersifat spesifik.

Pemeriksaan imunohistokimia untuk mendeteksi adanya antigen, hal ini disebabkan adanya ikatan spesifik antara antigen dan antibodi (Bintari, 2016).

Hasil dari penelitian Hertika *et al.*, (2014), menunjukkan bahwa ekspresi metallothionein reaksi positif kuat nilai intensitasnya yaitu 51.999 pixel, reaksi positif sedang sebesar 39.889 pixel dan positif lemah sebesar 12.138 pixel.

Semakin tua dan semakin meratanya warna coklat yang terlihat menunjukkan semakin banyak jumlah metallothionein tereksresi maka semakin tinggi pula kadar logam berat yang terkandung.

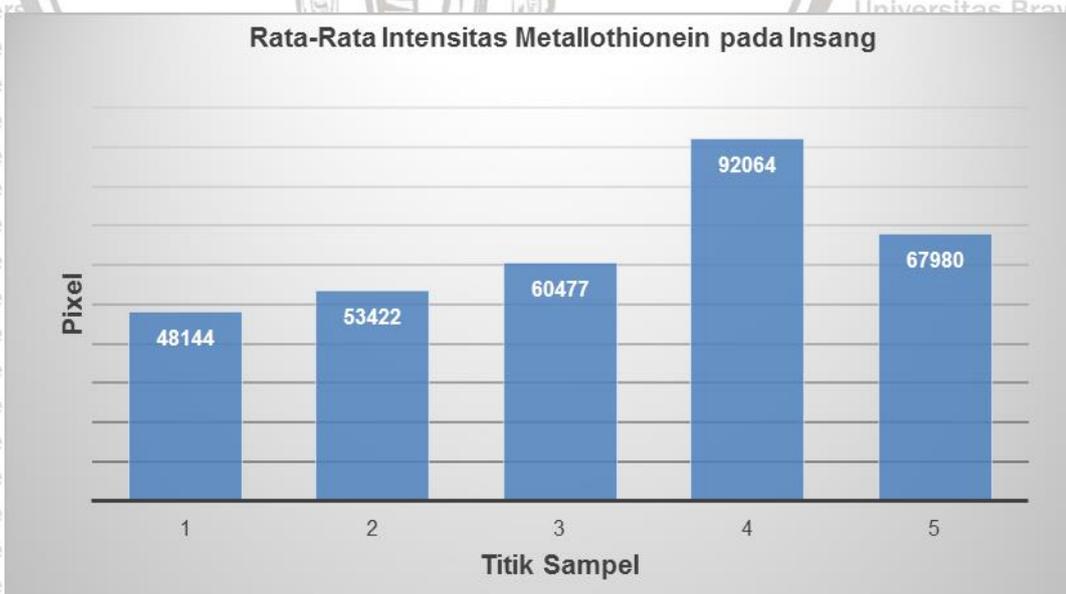
5.5 Intensitas Metallothionein

Intensitas metallothionein pada penelitian ini dihitung dan diukur menggunakan aplikasi imageJ pada area 670716 dengan Panjang 1116 dan lebar 601. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui intensitas methallothionein pada jaringan insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis*).

Data intensitas metallothionein pada penelitian ini dapat dilihat pada grafik berikut.

5.5.1 Intensitas Metallothionein Insang

Pengukuran intensitas metallothionein pada insang ini dilakukan untuk mengetahui intensitas methallothionein pada jaringan insang. Nilai Intensitas Metallothionein pada insang tertinggi terdapat pada sampel 4 dengan nilai 92064 pixel dan terendah pada sampel 1 dengan nilai 48144 pixel. Selengkapnya data intensitas metallothionein insang dapat dilihat pada grafik Gambar 18.



Gambar 18. Rata-rata Intensitas Metallothionein pada Jaringan Insang Kerang Hijau (*Perna viridis*).

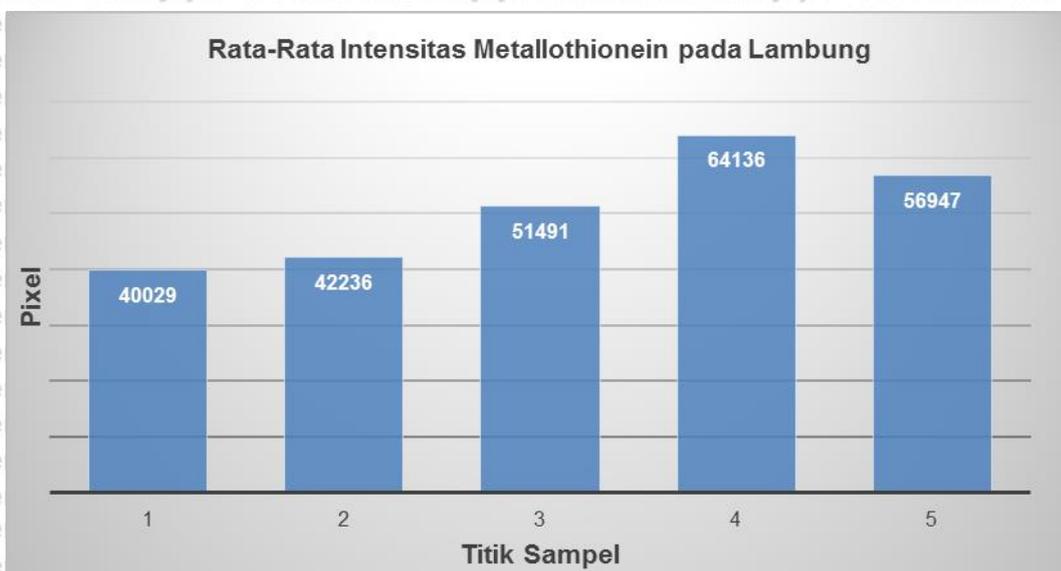
Berdasarkan grafik Gambar 18, diketahui bahwa nilai intensitas metallothionein tertinggi ditemukan pada titik sampel 4 sebesar 92064 pixel. Tingginya kadar intensitas metallothionein diduga dipengaruhi karena lokasi titik sampel yang berdekatan dengan muara sungai Bengawan Solo dan berdekatan dengan industri perbaikan kapal serta berdekatan dengan bersandarnya kapal nelayan. Sehingga banyak logam berat Cu yang terakumulasi dalam insang kerang hijau. Sedangkan nilai intensitas metallothionein terendah pada insang kerang hijau didapat pada titik sampel 1 dengan nilai sebesar 48144 pixel. Hal ini diduga disebabkan karena jauh dari sumber pencemaran dan jauh dari aktifitas industri.

Proses masuknya logam Cu ke dalam tubuh organisme kerang hijau melalui insang sehingga konsentrasi di dalam tubuh semakin meningkat karena proses akumulasi. Agar organisme tersebut mampu bertahan hidup, maka respon fisiologis organisme tersebut adalah mensintesis metallothionein (MT) sebagai fungsi metal homeostatis, yaitu untuk menjaga keseimbangan logam berat terhadap metabolisme dalam tubuhnya (Acker *et al.*, 2005). Hertika *et al.*, (2014) juga menambahkan bahwa ekspresi intensitas Metallothionein akan semakin meningkat pada jaringan yang dipapar dengan logam berat seiring meningkatnya dosis pemaparan. Hal ini menjelaskan bahwa tingginya nilai intensitas metallothionein menggambarkan bahwa kadar logam berat dalam tubuh kerang hijau pada penelitian ini cukup tinggi. Sehingga perlu dilakukan pemantauan buangan limbah industri sekitar.

5.5.2 Intensitas Metallothionein pada Lambung

Pengukuran intensitas metallothionein pada lambung ini dilakukan untuk mengetahui intensitas metallothionein pada jaringan lambung. Nilai Intensitas Metallothionein pada lambung tertinggi terdapat pada sampel 4 dengan nilai

6413 pixel dan terendah pada sampel 1 dengan nilai 40029 pixel. Selengkapnya data intensitas metallothionein lambung dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Rata-rata Intensitas Metallothionein pada Jaringan Lambung Kerang Hijau (*Perna viridis*).

Berdasarkan grafik Gambar 19, diketahui bahwa pada sampel 1 didapat nilai sebesar 40029 pixel, 2 sebesar 42236 pixel, 3 sebesar 51491 pixel, 4 64136 pixel dan 5 sebesar 56047 pixel. Seperti halnya pada insang, nilai pada titik 4 adalah tertinggi. Hal ini membuktikan bahwa pada kerang hijau pada titik tersebut mengakumulasi logam berat Cu lebih banyak sesuai dengan kadar logam berat Cu di perairan. Menurut Amiard *et al.*, (2006), menjelaskan bahwa suatu organisme yang hidup pada daerah yang tercemar logam berat mempunyai konsentrasi metallothionein yang lebih tinggi. Ringwood *et al.*, (2004), juga menambahkan bahwa ada hubungan positif antara metallothionein dan polutan logam berat. Kontaminan logam berat dapat mengakibatkan kerusakan sistemik suatu organisme dan mengakibatkan kelebihan produksi metallothionein.

Satuan pixel untuk intensitas metallothionein dijelaskan oleh Carpene *et al.*, (2007), bahwa pixel merupakan dasar satuan komparasi analisis kuantitatif untuk ekspresi protein dalam penggunaan imunoflourescent untuk mengenali dan

sebagai pembeda warna gelap untuk metallothionein. Algoritma ini digunakan untuk mengukur ekspresi daripada marker yang penting melalui seluler dan subseluler. Informasi variabel melalui (*Aqua score*) dapat diketahui melalui intensitas pixel dengan nilai yang disesuaikan dengan kapasitas suatu gambar sehingga dasar dari rata-rata intensitas dapat diketahui melalui evaluasi dari semua jumlah pixel yang ada pada gambar. Menurut Fazry (2008), citra digital tersusun atas sejumlah tertentu pixel. Setiap pixel pada citra memiliki suatu nilai yang disebut intensitas pixel. Nilai intensitas pixel merupakan nilai yang menentukan derajat dari pixel tersebut.

5.6 Densitas Metallothionein

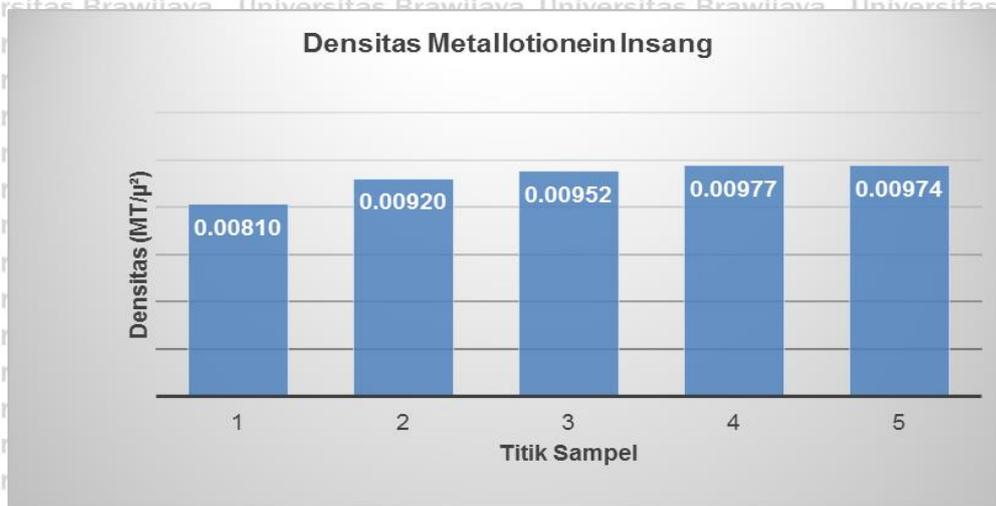
Densitas metallothionein pada penelitian ini dihitung dan diukur menggunakan software imagej pada area 670716 dengan Panjang 1116 dan lebar 601. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui densitas methallothionein pada jaringan insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis*). Data densitas methallothionein pada penelitian ini dapat dilihat pada grafik berikut :

5.6.1 Densitas Metallothionein Insang

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui densitas metallothionein pada jaringan insang. Nilai tertinggi densitas metallothionein pada insang kerang hijau terdapat pada sampel 4 sebesar 0,00977 MT/ μm^2 sedangkan nilai terendah pada titik sampel 1 sebesar 0.00810 MT/ μm^2 .

Berdasarkan hasil grafik densitas metallothionein pada insang kerang hijau, diketahui bahwa pada sampel 1 didapat nilai sebesar 0,00810 MT/ μm^2 , 2 sebesar 0,00920 MT/ μm^2 , 3 sebesar 0,00952 MT/ μm^2 , 4 sebesar 0,00977 MT/ μm^2 dan 5 sebesar 0,00974 MT/ μm^2 . Data densitas pada penelitian ini tidak jauh berbeda antara titik satu dengan titik yang lain. Hal ini diduga bahwa

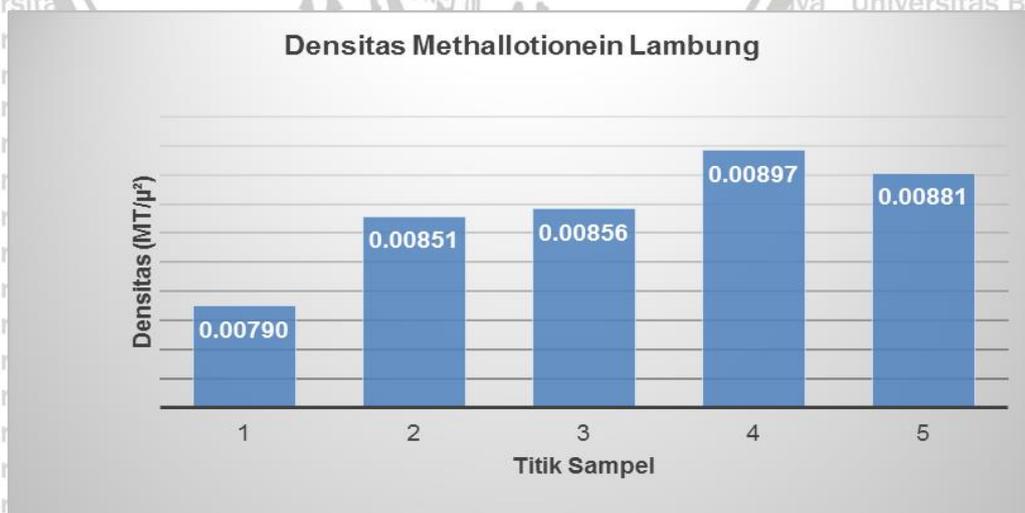
densitas akumulasi logam berat Cu pada jaringan insang kerang tidak jauh berbeda. Data selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Densitas Metallothionein pada Jaringan Insang Kerang Hijau (*Perna viridis*)

5.6.2 Densitas Metallothionein Lambung

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui densitas metallothionein pada jaringan lambung. Nilai tertinggi densitas metallothionein pada kerang hijau terdapat pada titik sampel 4 yaitu sebesar 0,00897 MT/μ² sedangkan nilai terendah terdapat pada titik 1 yaitu sebesar 0.00790 MT/μ². Data selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Densitas Metallothionein pada Jaringan Lambung Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Berdasarkan grafik densitas metallothionein pada lambung kerang hijau, diketahui bahwa pada sampel 1 didapat nilai sebesar $0,00790 \text{ MT}/\mu\text{m}^2$, 2 sebesar $0,00851 \text{ MT}/\mu\text{m}^2$, 3 sebesar $0,00856 \text{ MT}/\mu\text{m}^2$, 4 sebesar $0,00897 \text{ MT}/\mu\text{m}^2$ dan 5 sebesar $0,00881 \text{ MT}/\mu\text{m}^2$. data densitas pada penelitian ini tidak jauh berbeda antara titik satu dengan titik yang lain. Hal ini diduga bahwa densitas akumulasi logam berat Cu pada jaringan insang kerrang tidak jauh berbeda. Namun tingkat densitas pada lambung lebih kecil dibandingkan dengan nilai densitas pada insang hal ini diduga karena kerrang bersifat *filter feeder* yang mana insang menjadi organ pertama dan paling sering yang terpapar oleh logam berat sehingga densitasnya menjadi lebih tinggi dibandingkan pada lambung.

Hal ini sesuai dengan penelitian Rumahlatu *et al.*, (2012) yang mempublikasi bahwa semakin banyak logam berat yang terakumulasi dalam komponen tubuh *D. setosum* maka akan semakin banyak sel yang mengalami ekspresi protein MT-1. Kemudian dijelaskan oleh Amiard *et al.*, (2006), yang mengatakan bahwa metallothionein dapat mereduksi ikatan logam non esensial di dalam sel sehingga keterlibatan metallothionein dalam akumulasi logam berat ini dianggap penting dengan menghubungkan induksi metallothionein terhadap toleransi logam berat.

5.7 Hubungan Ukuran dan Kadar Logam Berat Cu dengan Intensitas Metallothionein pada Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Pencemaran logam berat dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur komunitas perairan, jaringan makanan, tingkah laku, efek fisiologi, genetik dan resistensi. Organisme air sangat dipengaruhi oleh keberadaan logam berat di dalam air, terutama pada konsentrasi yang melebihi batas normal.

Organisme air mengambil logam berat dari badan air atau sedimen dan memekatkannya ke dalam tubuh hingga 100-1000 kali lebih besar dari lingkungan. Akumulasi melalui proses ini disebut bioakumulasi. Kemampuan

organisme air dalam menyerap (absorpsi) dan mengakumulasi logam berat dapat melalui beberapa cara, yaitu melalui saluran pernapasan (insang), saluran pencernaan dan difusi permukaan kulit (Darmono, 2001). Sebagian besar logam berat masuk ke dalam tubuh organisme air melalui rantai makanan dan hanya sedikit yang diambil air. Akumulasi dalam tubuh organisme air dipengaruhi oleh konsentrasi bahan pencemar dalam air, kemampuan, sifat organisme (jenis, umur dan ukuran) dan lamanya pernapasan.

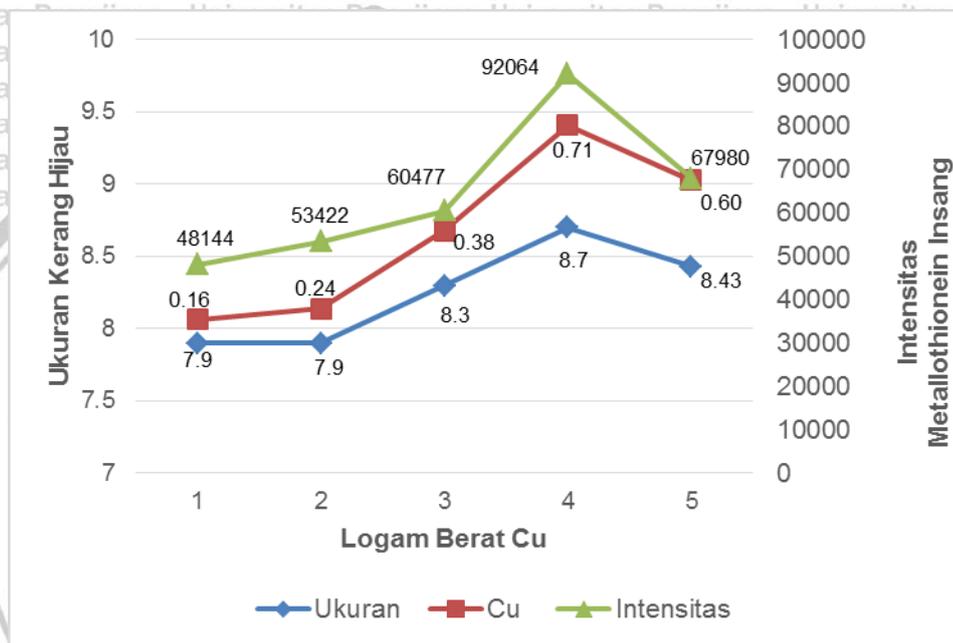
Menurut Harsono (2015), salah standar uji statistik yang digunakan dalam perhitungan ini lebih lanjut untuk menguji hubungan korelasi antar koefisien dalam penelitian ini menggunakan analisis regresi $Y = a + b_1x_1 + b_2x_2$. Analisis regresi dilakukan untuk menentukan parameter yang paling penting dalam mengendalikan konsentrasi MT antara faktor alam dan kontaminasi. (Amiard *et al.*, 2006) menjelaskan bahwa hubungan antara kadar logam berat pada bivalvia dengan kadar metallothionein dapat dijelaskan melalui analisis regresi. Kadar metallothionein cenderung semakin meningkat seiring meningkatnya kadar logam berat yang terakumulasi dalam tubuh bivalvia tersebut. Hasil analisis regresi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Hasil Analisis Hubungan Intensitas Metallothionein Insang dan Lambung.

Organ	R	R ²	Penyesuaian R ²	Perkiraan Kesalahan Std.
Insang	0,946	0,895	0,791	7853,16523
Lambung	0,999	0,999	0,997	545,89103

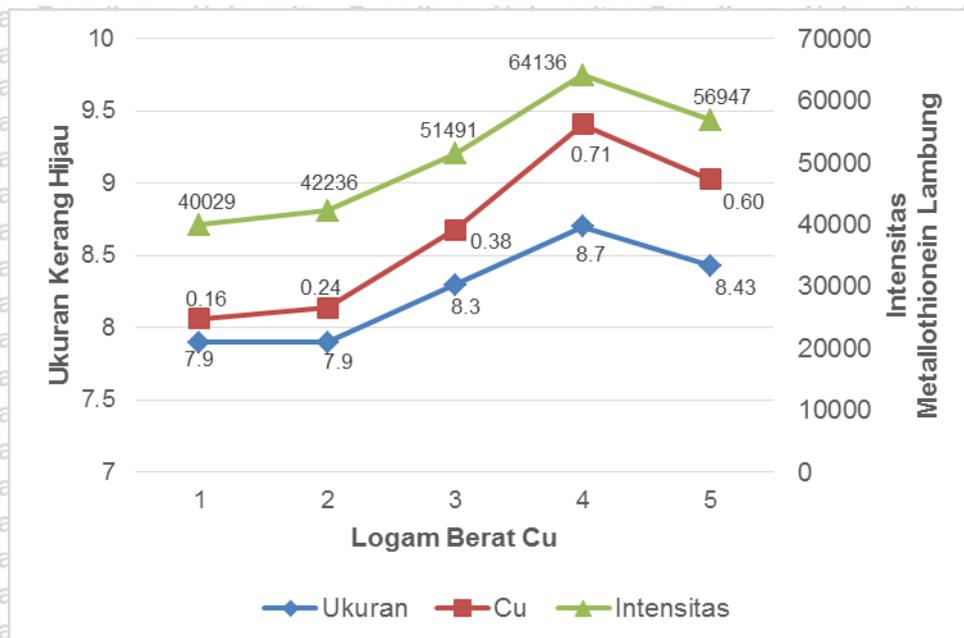
Berdasarkan Tabel 4, menunjukkan R² sebesar 0,895 untuk intensitas metallothionein insang, sedangkan R² sebesar 0,999 untuk intensitas metallothionein lambung. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat kuat antara Logam berat Cu dalam kerang hijau dan intensitas metallothionein insang terhadap ukuran kerang hijau. Namun, dalam perhitungan ANOVA didapatkan nilai signifikan intensitas metallothionein insang dan

lambung, yang masing-masing sebesar 0,105 dan 0.001. Hal ini menunjukkan hubungan antara ukuran kerang hijau dan logam berat Cu dengan intensitas metallothionein insang dan lambung tidak berbeda nyata. Perhitungan ANOVA intensitas metallothionein insang dan lambung dapat dilihat pada Lampiran 7 dan Lampiran 8. Berdasarkan analisis regresi dan perhitungan ANOVA didapatkan hasil grafik hubungan ukuran kerang hijau, logam berat Cu dengan intensitas metallothionein yang dapat dilihat pada Gambar 22 dan Gambar 23.



Gambar 22. Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu dengan Intensitas MT di Insang Kerang Hijau.

Pada grafik Gambar 22 menunjukkan bahwa ukuran kerang hijau dan kandungan logam berat Cu pada kerang hijau dengan intensitas metallothionein pada insang kerang hijau mempunyai keterkaitan antar satu dengan yang lain. Dalam pernyataan Carpena *et al.*, (2007) dijelaskan bahwa protein MT memiliki 2 fungsi utama yaitu detoksifikasi dan scavenger radikal bebas. Hal ini mengindikasikan bahwa MT sebagai protein terlibat dalam metabolisme logam berat yang penting dalam menjalankan fungsi sel suatu organisme. Oleh karena itu MT mengikat jumlah logam di dalam sebuah sel.



Gambar 23. Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu dengan Intensitas MT di Lambung Kerang Hijau

Pada grafik Gambar 23., juga menunjukkan bahwa ukuran kerang hijau dan kandungan logam berat Cu pada kerang hijau dengan intensitas metallothionein pada lambung kerang hijau mempunyai keterkaitan antar satu dengan yang lain. Hal ini dijelaskan oleh Liu dan Wang (2011), bahwa dalam moluska air, insang merupakan organ yang berhadapan langsung untuk penyerapan logam terlarut, di mana logam terikat metallothionein, dimasukkan ke dalam lisosom, dan dilepas ke plasma darah di bagian basalnya dan beredar ke hemosit. Namun, serapan partikulat logam terutama dicapai melalui saluran pencernaan oleh endositosis, logam lanjut ditransfer pertama yang lisosom dan kemudian ke badan sisa, terutama di sel-sel pencernaan dari kelenjar pencernaan.

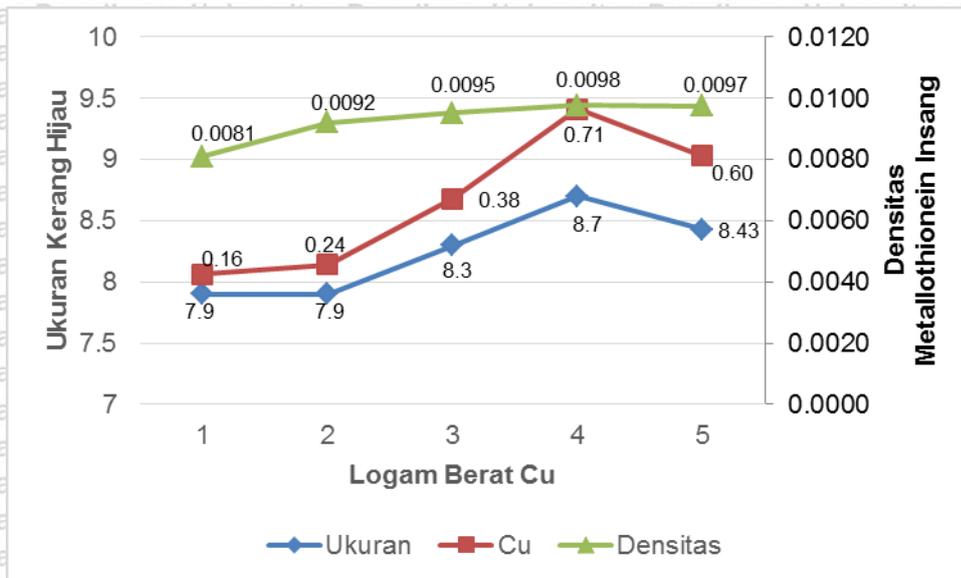
5.8 Hubungan Ukuran dan Kadar Logam Berat Cu dengan Densitas Metallothionein pada Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Hubungan antara kadar logam berat pada bivalvia dengan kadar metallothionein dapat dijelaskan melalui analisis regresi. Kadar metallothionein cenderung semakin meningkat seiring meningkatnya kadar logam berat yang terakumulasi dalam tubuh bivalvia tersebut. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan analisis regresi pada Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5. Data Hasil Analisis Hubungan Densitas Metallothionein Insang dan Lambung.

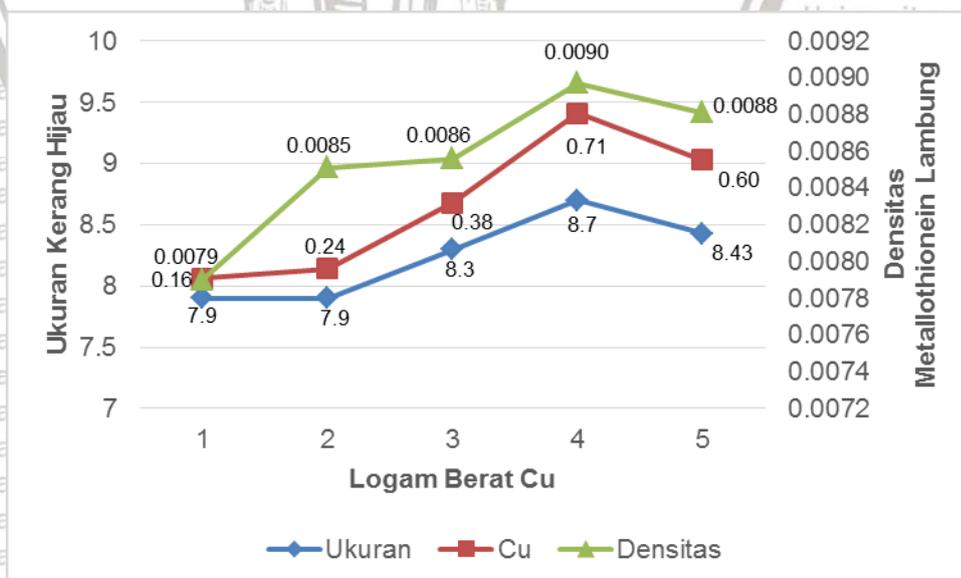
Organ	R	R ²	Penyesuaian R ²	Perkiraan Kesalahan Std.
Insang	0,833	0,694	0,389	0,0005398
Lambung	0,912	0,831	0,662	0,0002377

Berdasarkan Tabel 5, R² sebesar 0,694 untuk densitas metallothionein insang menunjukkan bahwa, terjadi hubungan yang kuat antara Logam berat Cu dalam kerang hijau dan intensitas metallothionein insang terhadap ukuran kerang hijau. Namun, R² sebesar 0,831 untuk densitas metallothionein lambung menunjukkan bahwa, terjadi hubungan yang kuat antara Logam berat Cu dalam kerang hijau dan densitas metallothionein insang terhadap ukuran kerang hijau. Namun, dalam perhitungan ANOVA didapatkan nilai signifikan densitas metallothionein insang dan lambung, yang masing-masing sebesar 0,306 dan 0,169. Hal ini menunjukkan hubungan antara ukuran kerang hijau dan logam berat Cu dengan densitas metallothionein insang dan lambung tidak berbeda nyata. Perhitungan ANOVA densitas metallothionein insang dan lambung dapat dilihat pada Lampiran 9 dan Lampiran 10. Berdasarkan analisis regresi dan perhitungan ANOVA didapatkan hasil grafik hubungan ukuran kerang hijau, logam berat Cu dengan densitas metallothionein yang dapat dilihat pada Gambar 24 dan Gambar 25.



Gambar 24. Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu dengan Densitas MT di Insang Kerang Hijau,

Pada grafik Gambar 24., menunjukkan bahwa ukuran kerang hijau dan kandungan logam berat Cu pada kerang hijau dengan densitas metallothionein pada insang kerang hijau mempunyai keterkaitan antar satu dengan yang lain. Semakin tinggi nilai kadar logam Cu dalam tubuh, maka semakin tinggi pula produksi MT dalam tubuh kerang.



Gambar 25. Hubungan Ukuran Kerang Hijau, Logam Berat Cu dengan Densitas MT di Lambung Kerang Hijau

Pada grafik Gambar 26, juga menunjukkan bahwa ukuran kerang hijau dan kandungan logam berat Cu pada kerang hijau dengan densitas metallothionein pada lambung kerang hijau mempunyai keterkaitan antar satu dengan yang lain. Semakin tinggi nilai kadar logam Cu dalam tubuh, maka semakin tinggi pula produksi MT dalam tubuh kerang. Menurut Amiard *et al.*, (2007), mengatakan bahwa umumnya peran utama metallothionein adalah homeostatis logam esensial seperti Cu dan Zn, namun protein ini juga terlibat dalam detoksifikasi logam non-esensial seperti Ag, Cd dan Hg. Sehingga dapat dikatakan bahwa logam berat Cu juga berpengaruh pada metallothionein yang terdapat pada insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis*).

Metallothionein memiliki peran penting sebagai buffer dalam sel yang dapat mengikat logam seperti Cu dan Zn (Marr *et al.*, 1996). Ada hubungan positif antara MT dan polutan logam berat. Kontaminan logam berat dapat mengakibatkan kerusakan sistemik suatu organisme dan mengakibatkan kelebihan produksi MT (Ringwood *et al.*, 2004).

5.9 Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air yang diamati pada penelitian ini yaitu meliputi suhu, kecepatan arus, derajat keasaman (pH), salinitas, dan oksigen terlarut (DO).

Hasil pengamatan kualitas air pada bulan Juli dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengamatan Kualitas Air pada Bulan Juli dan Agustus

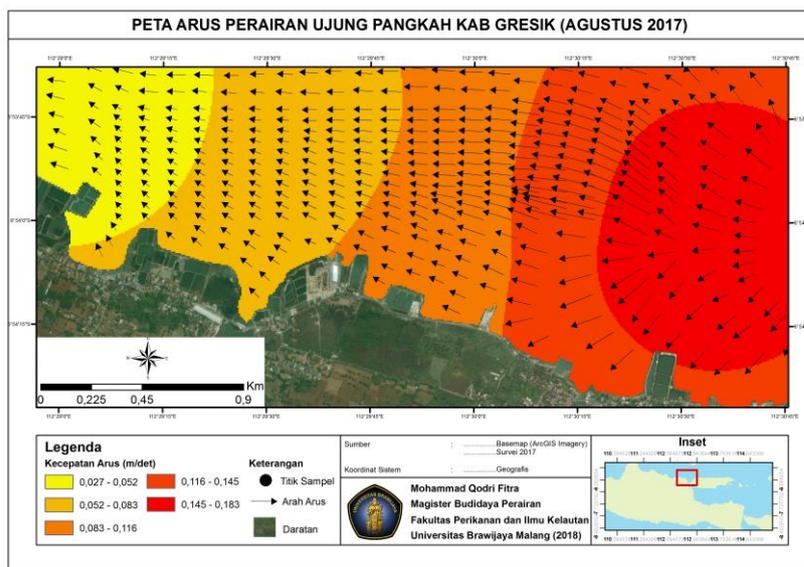
Titik Sampel	Data Kualitas Air								
	Suhu (°C)		pH		DO (mg/l)		Salinitas (ppt)		Kecepatan Arus (m/s)
	Juli	Agustus	Juli	Agustus	Juli	Agustus	Juli	Agustus	Agustus
1	32	31	7,9	7,8	5,7	5,6	26	27	0,027
2	31	31	7,9	7,8	5,8	5,6	26	27	0,062
3	31	33	7,9	7,9	5,4	5,7	25	25	0,094
4	32	32	7,8	7,8	5,4	5,8	25	26	0,126
5	32	32	7,8	7,8	5,6	5,7	25	26	0,183

5.9.1 Suhu

Berdasarkan hasil analisis kualitas air di perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik pada bulan Juli dan Agustus berkisar antara 31°C – 33°C . Nilai suhu tertinggi didapat pada titik sampel 3 di bulan Agustus yaitu sebesar 33°C hal ini dikarenakan intensitas cahaya matahari yang masuk tinggi sehingga suhu semakin tinggi. Menurut Rahman (2006) kisaran suhu yang mampu ditoleransi oleh biota laut yaitu berkisar antara 20 – 35°C . Sehingga kerang hijau masih dalam batas baku mutu biota laut.

5.9.2 Kecepatan Arus

Hasil analisis kualitas air mengenai kecepatan arus di perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik pada bulan Agustus berkisar $0,027$ - $0,183$ m/s. Dari hasil tersebut terdapat perbedaan di setiap stasiun disebabkan adanya perbedaan pergerakan angin yang dapat mempengaruhi kecepatan arus yang ada di muara sungai Bengawan Solo. Gambar pergerakan arus pada bulan Agustus di perairan Desa Ngemboh dapat dilihat pada Gambar 26.



Gambar 26. Pergerakan Arus di Perairan Desa Ngemboh di Bulan Agustus

Pengukuran arah arus di bulan Agustus diduga pergerakan arus berasal dari arah timur menuju ke barat pesisir Desa Ngemboh Kabupaten Gresik

dengan kecepatan rendah. Pergerakan arus juga biasanya diikuti oleh perpindahan material – material yang ada di air. Arus juga dapat mempengaruhi persebaran konsentrasi logam berat yang ada di muara. Arus juga dapat menyebabkan terjadinya pengadukan material yang mengendap di dasar perairan sehingga menimbulkan banyaknya material – material yang mengendap di sedimen terangkat di kolom air. Salah satu material tersebut adalah logam berat, apabila terjadi pengadukan maka akan menyebabkan logam berat tersebar di seluruh perairan dan mencemari perairan tersebut (Mukhtasor, 2007).

5.9.3 Derajat Keasaman (pH)

Hasil analisis kualitas air, diperoleh nilai pH pada perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik yaitu sebesar 7. Berdasarkan hasil tersebut, pH pada perairan Desa Ngemboh masih dalam batas baku mutu untuk biota laut. Menurut Kepmen LH No. 51 Tahun 2004, pH yang aman untuk kehidupan biota laut berkisar antara 7 – 8,5. Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan rata-rata habitat nilai pH pada biota laut berkisar antara 7 – 8,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan, selain itu pH rendah juga akan meningkatkan toksisitas logam di perairan (Effendi, 2003).

5.9.4 Oksigen Terlarut (DO)

Hasil analisis kualitas air nilai oksigen terlarut (DO) pada Perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik berkisar antara 5,4 – 5,8mg/L. Nilai kandungan DO tertinggi didapat pada titik sampel 2 di bulan Juli dan titik sampel 4 di bulan Agustus. Hal ini disebabkan oleh arus yang berubah antara bulan Juli dan Agustus sehingga menyebabkan nilai kandungan DO yang berubah. Akan tetapi hal ini dalam kondisi optimal dimana sesuai dengan Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 yang menyebutkan bahwa baku mutu oksigen terlarut untuk kehidupan biota laut yaitu 5mg/L. Salmin (2005), menambahkan bahwa sumber utama

oksigen dalam suatu perairan berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil fotosintesis organisme yang hidup di perairan tersebut.

5.9.5 Salinitas

Hasil analisis kualitas air, diperoleh nilai salinitas pada perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik yaitu berkisar antara 25 – 27 ppt. Jika dilihat dari hasil pengamatan, pada titik sampel 3, 4, dan 5 memiliki kadar salinitas yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena letak titik sampel berdekatan dengan muara sungai. Menurut Kepmen LH No. 51 Tahun 2004, nilai salinitas yang baik untuk mendukung kehidupan biota laut adalah ≤ 34 . Menurut Salmin (2005), salinitas pada perairan pantai biasanya rendah, hal ini terjadi kaeran pengenceran oleh aliran sungai. Sebaliknya di daerah penangkapan, nilai salinitas biasanya sangat tinggi dikarenakan besarnya pengaruh salinitas dari lautan lepas.



6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Sebaran logam berat Cu pada perairan Desa Ngemboh, Kabupaten Gresik nilai kadar Cu tertinggi terdapat pada kawasan muara Sungai Ngemboh sebesar 0,006ppm. Sedangkan kadar Cu terendah terdapat pada kawasan berdekatan dengan pantai Delegan sebesar 0,002ppm. Sedangkan kandungan dalam kerang hijau kadar tertinggi terdapat pada kawasan muara Sungai Ngemboh sebesar 0,71ppm dan terendah terdapat pada kawasan berdekatan dengan pantai Delegan sebesar 0,159.
2. Hasil kadar intensitas metallothionein pada insang dan lambung kerang hijau tertinggi terdapat pada kawasan muara Sungai Ngemboh yaitu sebesar 92064 pixel dan 64136 pixel; dan hasil kadar densitas metallothionein pada insang dan lambung kerang hijau tertinggi juga terdapat kawasan muara Sungai Ngemboh yaitu sebesar 0,00977 MT/ μm^2 dan 0,00897 MT/ μm^2 .
3. Nilai regresi R^2 hubungan antara intensitas metallothionein dengan ukuran kerang hijau dan logam berat pada insang dan lambung masing-masing sebesar 0,946 dan 0,999. Selanjutnya nilai regresi R^2 hubungan antara intensitas metallothionein dengan ukuran dan logam berat kerang hijau pada insang dan lambung masing-masing sebesar 0,833 dan 0,912.

6.2 Saran

Kadar logam berat dalam kerang hijau dapat diketahui dari kadar metallothionein pada lambung dan insangnya.

DAFTAR PUSTAKA

Acker L. A., J. R. McMahan, dan J. E. Gawel. 2005. The Effect of Heavy Metal Pollution in Aquatic Environment on Metallothionein Production in *Mytilus* sp. Journal of Ecotoxicology.

Amiard, J.C., A. Geffard, C. Amiard-Triquet, dan C. Crouzet. 2007. Relationship between the Lability of Sediment-bound Metals (Cd, Cu and Zn) and their Bioaccumulation in Benthic Invertebrates. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 72: 511-521.

Amiard, J. C., Amiard Triquet, C., Barka, S., Pellerin, dan J., Rainbow, P. S. 2006. Metallothioneins in Aquatic Invertebrates: Their Role in Metal Detoxification and Their Use as Biomarkers. *Aquat. Toxicol.* (76): 160–202.

Aminin. 2018. Respon Protein Metallothionein pada Keong Tutut (*Filopaludina javanica* v. d Busch 1844) Terhadap Penurunan Kadar Pb dengan Cara Penggelontoran. Tesis. Universitas Brawijaya.

Azevedo J. D. S., Marcos A. H., Jorge E. D. S. S. 2012. Accumulation and Distribution of Metals in the Tissues of Two Catfish Species from CANANÉIA and SANTOS-SÃO VICENTE ESTUARIES. *Brazilian Journal of Oceanography*, 60(4):463-472.

Balqis, U., Darmawi, E., Handharyani., dan M. Hambal. 2011. Deteksi Keberadaan Antigen pada Kuitkula *Ascaridia galli* dengan immunoglobulin *yolk* melalui Metode Imunohistokimia. Skripsi. Unsyiah Banda Aceh.

Barret, E. M. 1963. The California Oyster Industry. The Resources Agency of California Department of Fish: Fish Bulletin 123.

Bintari, I. G. 2016. Deteksi *Aeromonas hydrophila* pada Ginjal Mencit (*Mus musculus*) dengan Teknik Imunohistokimia. Skripsi. Universitas Airlangga.

Buwono, I. D. 2005. Upaya Penurunan Kandungan Logam Hg (Merkuri) dan Pb (Timbal) pada Kerang Hijau (*Mytilus viridis*) dengan Konsentrasi dan Waktu Perendaman Na₂Ca EDTA yang Berebeda. *Jurnal Bionatura*. (7) 3.

Cahyani, M. D., Ria Azizah T. N., dan Bambang Y. 2012. Studi Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Air, Sedimen, dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Sungai Sayung dan Sungai Gonjol, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak. *Journal Of Marine Research*. (1) 2 : 73-79.

Cappenberg, H. A. W. 2006. Pengamatan Komunitas Moluska di Perairan Kepulauan Derawan, Kalimantan Timur. *Oseonologi dan Limnologi di Indonesia*, No. 39.

Carpene, E., G. Andreani, G. Isniani. 2007. Metallothionein Functions and Structural Characteristic. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. p : 35-39.

Castro, P. dan Huber Michael, E. 2007. *Marine Biology*, Sixth Edition. America, New York: The McGraw-Hill Companies.

Dahuri, R., J. Rais, S. P. Ginting, dan M. J. Sitepu. 1996. *Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. Pradnya Paramita. Jakarta.

Darmono, 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran (Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam)*. Universitas Indonesia Press: Jakarta.

De Vries, W., Römkens, P.F.A.M., Van Leeuwen, T., Bronswijk, J.J.B. 2002. *Heavy Metals. Agriculture, Hydrology, and Water Quality*. Wallingford, Oxfordshire. 107–132.

Dewi N. K., Perdhana F. F., dan Yuniastuti A. 2012. Paparan Seng di Perairan Kaligarang Terhadap Ekspresi Zn-Thionein dan Konsentrasi Seng pada Hati Ikan Mas. *Jurnal Mipa* 35 (2): 108-115.

Dewi Y. S. dan Yosar H. G. 2009. Pemanfaatan Alga *Chlorella sp.* dan Enceng Gondok untuk Menurunkan Tembaga (Cu) pada Industri Pelapisan Logam. Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Dinas Kelautan Dan Perikanan Kab. Gresik. 2013. *Produksi Perikanan Laut Kerang Hijau Tahun 2011-2012*.

Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.

Erfiandika, H. 2014. *Analisis Kadar Pb dan Cu pada Ikan Serta Saus kemasan Kaleng terhadap Lama Penyimpanan*. Skripsi. Universitas Jember.

Ernawati. 2010. *Kerang Bulu (Anadara inflata) sebagai bioindikator pencemaran logam berat timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) di muara Sungai Asahan*. Tesis. Universitas Sumatera Utara.

Eshmat, M. E., Gunanti M., dan Boedi S. R. 2014. *Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) Pada Kerang Hijau (Perna Viridis L.) di Perairan Ngemboh Kabupaten Gresik Jawa Timur*. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. (6): 1.

Etikan I., Sulaiman A. B., Rukayya S. A. 2016. Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistic*. 5 (1): 1-4.

Fazry L. 2008. *Kompresi Citra Fraktal menggunakan Algoritma Genetika*. Skripsi. Universitas Indonesia.

Fitriyah, K. R. 2007. *Studi Pencemaran Logam Berat Kadmium (Cd), Merkuri (Hg) dan Timbal (pb) pada Air Laut, Sedimen dan Kerang Bulu (Anadara antiquata) di Perairan Pantai Lekok Pasuruan*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Malang.

Gray. 2005. Lecture Notes Kardiologi Edisi IV. Erlangga Medical Series: Jakarta.

Harsono, T. A. 2015. Densitas dan Intensitas Metallothionein yang Terekspressi pada Insang Tiram (*Crassostrea iredalei*) di Pantai Talng Siring, Kabupaten Pamekasan Madura. Skripsi. Universitas Brawijaya.

Herdiana, D. 2000. Studi Kesesuaian Perairan Muara Sungai Asahan Sumatera Utara untuk Budidaya Perairan Ditinjau dari Kadar Logam Berat. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.

Hermawan, F. 2015. Analisis Kesesuaian Lahan Di Perairan Pulau Pasaran Provinsi Lampung Untuk Budidaya Kerang Hijau (*Perna viridis*). Skripsi. Universitas Lampung.

Hertika, A. M. S., Marsoedi., Diana. A., dan Soemarno. 2014. Density and Intensity of Metallothionein in Gill and Interior Cavity of Taiwan Mussels (*Anodonta woodiana*) after Exposure to Lead (Pb) at Sub-chronic Level Using Immunohistochemical Technique. *Journal of Natural Science Research*. (6):58-68.

Hutabarat, S. dan S.M. Evans. 1995. Pengantar Oceanografi. Edisi 2. Universitas Indonesia Press: Jakarta.

Hutabarat, S. dan S. M.Evans. 2008. Pengantar Oseangrafi. Universitas Indonesia Press : Jakarta.

Hutagalung, H. P. 1991. Pencemaran Laut oleh Logam Berat dalam Beberapa Perairan Indonesia. Puslitbang. Oseanografi LIPI. Jakarta.

Juniawan, A., Rumhayati B., dan Ismuyanto B. 2013. Karakteristik Lumpur Lapindo dan Fluktuasi Logam Berat Pb dan Cu pada Sungai Porong dan Aloo. *Sains Terapan*. 7 (1) : 50-59.

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2004. Baku Mutu Air Laut Untuk Biota Laut. Lampiran III.

Khayatzaeh, J. and Abbasi, E. (2010): The effects of heavy metals on aquatic animals. In The 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University–Mashad Branch, Iran. 1:26-28.

Kordi, K. G., dan Andi B. T. 2009. Pengelolaan Kualitas Air dalam Budidaya Perairan. Rineka Cipta : Jakarta.

Lehr, S., Kotzka J., Herkner A., Klein E., Siethoff C., Knebel B., Noelle V., Bruning J. C., Klein H. W., Meyer H. E., Krone W., Muller-Wieland D. 1999. Identification of Tyrosine Phosphorylation Sites in Human Gab-1 Protein by EGF Receptor Kinase in Vitro. *Biochemistry*. 38 (1) : 151-9.

Lestari dan Fitri B. 2013. Konsentrasi Hg, Cd, Cu, Pb, dan Zn dalam Sedimen di Perairan Gresik. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 5 (1) : 182-191.

Linde, A. R. dan E. Garcia-Vazquez. 2006. A Simple Assay To Quantify Metallothionein Helps to Learn About Bioindicator and Environmental Health. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. **34** (5): 360–363.

Liu F. dan Wang, W. 2011. Metallothionein Like Proteins Turnover, Cd and Zn Biokinetics in the Dietary Cd Exposed Scallop *Chlamys Nobilis*. *Aquat Toxicol* 105:361–368.

Magni, P., S. Montani, dan K. Tada. 2002. Semidiurnal Dynamics of Salinity, Nutrients and Suspended Particulate Matter in an Estuary in the Seto Island Sea, Japan, during a Spring Tide Cycle. *J. Oceano*. **58** :389-402.

Maslukah, L. 2006. Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dan Pola Sebarannya di Muara Banjir Kanal Barat, Semarang. Tesis. Institut Pertanian Bogor.

Matagi, S. V., Swai, D., dan Mugabe, R., 1998. Heavy Metal Removal Mechanisms in Wetlands. *Afr. J. Trop. Hidrobiol. Fish*. **8** : 23-35.

Marr, J.C.A., J. Lipton, D. Cacela, J.A. Hansen, J.A. Bergman, J.S. Meyer and C.Hogstrand. 1996. Relationship between Copper Exposure Duration, Tissue Copperconcentration and Rainbow Trout Growth. *Aquatic Toxicol*. **36**: 20-30.

Mukhtasor., 2007. Pencemaran Pesisir dan Laut. Pradnya Paramita. Jakarta.

Murdinah. 2009. Penanganan dan Diversifikasi Produk Olahan Kerang Hijau. *Squalen*. (4): 2.

Murtini, J. T., Kurniawan, A. D., dan Dewi, E. N. 2008. Pengaruh Waktu Perendaman dan Konsentrasi Karboksimetil Kitosan untuk Menurunkan Kandungan Logam Berat Hg, Cd, dan Pb pada Kerang Hijau (*Perna viridis* Linn.). *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. Jakarta. **3** (1): p. 37–43.

Murtini, J. T., Rosmawaty, P. 2006. Heavy Metal Content of Hard Clam (*Metrix metrix*) and Seawater in Banjarmasin Waters. *J. Fish. Sci*. **8** (2): 177-184.

Nirarita C. E. 1996. Ekosistem Lahan Basah Indonesia. *Wetlands International Indonesia Programme*, Bogor.

Nopriani, L. S. 2011. Teknik Uji Cepat untuk Identifikasi Pencemaran Logam Berat Tanah di Lahan Apel Batu. Disertasi. Universitas Brawijaya.

Nontji. 2002. *Laut Nusantara*. Cetakan Ketiga. Djambatan: Jakarta.

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

Nurdiani, D. 2005. Adsorpsi Logam Cu (Ii) dan Cr (Vi) pada Kitosan Bentuk Serpihan dan Butiran. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.

Odum, E. P. 1996. *Fundamental of Ecology* Edition II. W. B. Saunders Corporation. Philadelphia.

Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta: Jakarta.

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

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

Pescod, M. B. 1973. *Investigation of Ration Effluent and Stream of Tropical Countries*. Bangkok. AIT. 59 hal.

Primaharinastiti, R. A. T. Poernomo, dan N. S. Erma. 2004. Bioakumulasi Logam Berat Cu oleh *Bacillus sp.* *Peneliti Hayati* : 10 (19-23).

Purwantara, S. 2010. *Modul Praktikum Sistem Informasi Geografis*. Fakultas Ilmu Sosial dan Ekonomi. UNY. Yogyakarta.

L. C. Rai, J. P. Gaur, dan H. D. Kumar. 1981. Phycology and Heavy-Metal Pollution. *Biological Reviews*. 56 (2): 99-151.

Rahman, A., 2006, Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Beberapa Jenis Krustasea Di Pantai Batakan dan Taksiung Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Bioscientiae*. 3 (2): 93-101.

Ramakritinan C. M., Rathisri C., Kumaraguru A. K. 2012. Acute Toxicity of Metals: Cu, Pb, Cd, Hg and Zn on Marine Molluscs, *Cerithedia Cingulata* G., and *Modiolus Philippinarum* H. *Indian Jurnal of Geo-Marine Science*. Vol 41 (2): 141-145.

Ramos dan Vara, J. A. 2005. *Technical Aspects of Immunohistochemistry*. *Vet Pathol* 42 (4): 405-426.

Rangan, J. K. 1996. *Struktur dan Tipologi Komunitas Gastropoda pada Zona Hutan Mangrove Perairan Kulu, Kabupaten Minahasa Sulawesi Utara*. Thesis. Institut Pertanian Bogor.

Ranganath R. N., Jayaraman V. and Roy P. S. (2007). Remote Sensing Applications: An Overview. *Current Science*. 93: 12.

Rantam, F. A. 2003. *Metode Imunologi*. Airlangga University Press. Surabaya. 145-155.

Rennika, A., dan N. Abdulgani. 2013. Konsentrasi dan Lama Paparan Senyawa Organik dan Inorganik pada Jaringan Insang Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) pada Kondisi Sub Lethal. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Ringwood, H., J. Hoguet, C. Keppler dan M. Gielazyn. 2004. Linkages between Cellular Biomarker Responses and Reproductive Success in Oysters - *Crassostrea virginica*. *Marine Environmental Res.* 58: 151-155.

Rompas, R. M. 2010. Toksikologi Kelautan. Jakarta : Walaw Bengkulen.

Rumahlatu D., A. D. Corebima, M. Amin, F. Rachman. 2012. Kadmium dan Efeknya terhadap Ekspresi Protein Metallothionein pada *Deadema setosum* (Echinoidea; Echinodermata). *Jurnal Penelitian Perikanan.* 1 (1) : 26-35.

Rumimohtarto. 1991. Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta.

Sa'adah, Sumiyati. 2010. Materi Pokok Zoologi Invertebrata. Bandung: Universitas Islam.

Salmin. 2005. Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Oseana*.

Sangaji E. M., dan Sopiah. 2010. Metodologi Penelitian. ANDI. Yogyakarta.

Sanusi, H. S. 2006. Kimia Laut Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan. Institut Pertanian Bogor.

Shahidul, I. M., and Tanaka, M. 2004. Impacts Of Pollution on Coastal and Marine Ecosystems Including Coastal and Marine fisheries and Approach for Management: A review and synthesis. *Mar. Pollut. Bull.* 48: 624-649.

Sharma A., dan Anthal, R. 2016. The Interaction of Humic Substances With Organic and Inorganic Pollutants. *International Journal of Recent Scientific Research.* 7 (12): 14861-14865.

Siahaan, R., Indrawan, A., Soedharma, dan D. Prasetyo, B, L. 2011. Kualitas Air Sungai Cisadane, Jawa Barat – Banten. *Jurnal Ilmiah Sains.* 11 (2). Hal 269-272.

Sitorus, H. 2004. Analisis Beberapa Karakteristik Lingkungan Perairan yang Mempengaruhi Akumulasi Logam Berat Timbal dalam Tubuh Kerang Darah di Perairan Pesisir Timur Sumatera Utara. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia.* 11 (1) : 53-60.

Soares, T. M., Cautinho, D. A., Lacerda, L. D., Moraes, M. O., dan Robelo, M. F. 2011. Mercury Acuumulation and Metallothionein Expression From Aquafeeds by *Litopenaeus Vannamei* Boone. *Braz. J. Bio.* 71: 131-137.

Soemirat, J. S. 2005. Epidemiologi Lingkungan. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.

Supiyati H., dan Gandika A. 2012. Karakteristik dan Kualitas Air di Muara Sungai Hitam Provinsi Bengkulu dengan Software Som Toolbox 2. *Jurnal Ilmu Fisika*. 1 (2).

Supriatno dan Lelifajri. 2009. Analisis Logam Berat Pb dan Cd dalam Sampel Ikan dan Kerang secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 7 (1) : 5-8.

Suryono, C. A. 2006. Kecepatan Filtrasi Kerang Hijau *Perna viridis* terhadap *Skeletonema sp* pada Media Tercemar Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu). *Jurnal Ebers Papyrus*. 13 (3) : 125-136.

Suwignyo, S. 2005. *Avertebrata Air Jilid I*. Penerbit Penebar Swadaya. Jakarta.

Suwignyo S., Widigdo B., Wardiatno Y, Krisanti M. 1998. *Avertebrata Air untuk Mahasiswa Perikanan*. Jilid 2. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

Suyanto, A., Sri K., dan Ch. Retnaningsih. 2010. Residu Logam Berat Ikan dari Perairan Tercemar di Pantai Utara Jawa Tengah. *Jurnal Pangan dan Gizi*. 1 (2).

Tortora, G.J. dan Derrickson, B.H. 2009. *Principles of Anatomy and Physiology*. Twelfth Edition. Asia: Wiley.

Turgeon. 1988. *Class Pelecypoda*. 3rd edition. San Diego: Academia Press. 985p.

Vasanthi, L. A., Peranandam R., Chinnasamy A., Natesan M. 2012. Biomarkers of metal toxicity and histology of *Perna viridis* from Ennore estuary, Chennai, south east coast of India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 84: 92-98.

Verlanda A. G. 2015. Analisis Konsentrasi Logam Berat Cu pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) dan Kerang Darah (*Andara granosa*) di Perairan Ujung Pangkah, Kabupaten Gresik. Skripsi. Universitas Brawijaya.

Wardhana. 1995. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Andi Offset: Yogyakarta.

Wardhana. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Andi Offset: Yogyakarta.

Wibisono, M. S. 2010. *Pengantar Ilmu Kelautan Edisi 2*. Jakarta : UI Press.

Zulhaidi. 2007. *Metode Penelitian*. Jurnal Universitas Sumatera Utara.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat dan Bahan Penelitian

PROSEDUR	ALAT	BAHAN
Pengukuran Kualitas Air - Suhu - Oksigen Terlarut - pH - Salinitas - Arus - Logam Berat	<ul style="list-style-type: none"> • Thermometer digital • Botol Polyetilen • Salinometer • Currentmeter • DO meter • AAS • Washing bottle 	<ul style="list-style-type: none"> • Air Sampel • Larutan standar • Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>) • Aquades • Tissue
Pengambilan Organ	<ul style="list-style-type: none"> • Sectio set • Cool box • Botol Sampel 	<ul style="list-style-type: none"> • Formalin 10% • Insang Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>) • Lambung Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)
Histopatologi	<ul style="list-style-type: none"> • Tissue cassette • Tissue Tex Processor • Microtome • Water bath • Inkubator • Keranjang khusus • Mesin vakum • Cetakan • Bunsen • Freezer • Objek glass 	<ul style="list-style-type: none"> • Jaringan hewan yang telah difiksasi formalin 10% • Parafin cair • Kertas label • Alkohol 90%, 80%, 70% • Alkohol absolute • Xylol • Spirtus
Imunohistokimia	<ul style="list-style-type: none"> • Pipet tetes • Lemari pendingin • Timer • Pipet volumetrik 	<ul style="list-style-type: none"> • PBS (<i>Phosphate Buffer Saline</i>) • 3 CDTA • Na-sitrat • H₂O₂ 0,3% • Sitrat 1% in PBS • Antibodi metallothionein • 2nd AB in PBS (1:200) • Deteksi antibodi • Aquades • DAB (<i>Diamino benzidine</i>) (1:46) • D2H2O • Hematoxylin meyer
Pengamatan Mikroskop	<ul style="list-style-type: none"> • Mikroskop • Layar monitor • CPU 	<ul style="list-style-type: none"> • Slide
Analisis Densitas dan Intensitas	<ul style="list-style-type: none"> • olyVIA • Paint • Image J 	<ul style="list-style-type: none"> • Plugin ICTN 1.6

Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian

Nama Alat/ Bahan /Kegiatan

Gambar

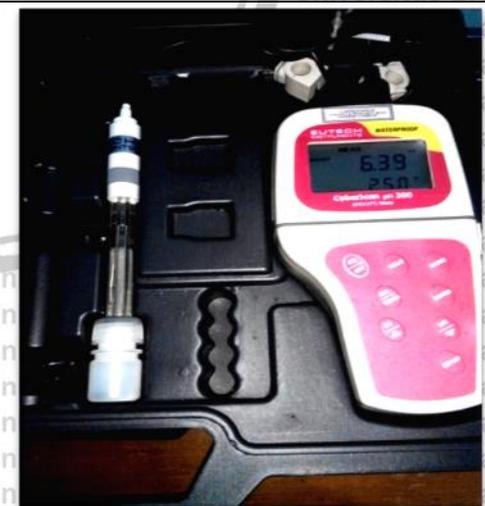
DO meter

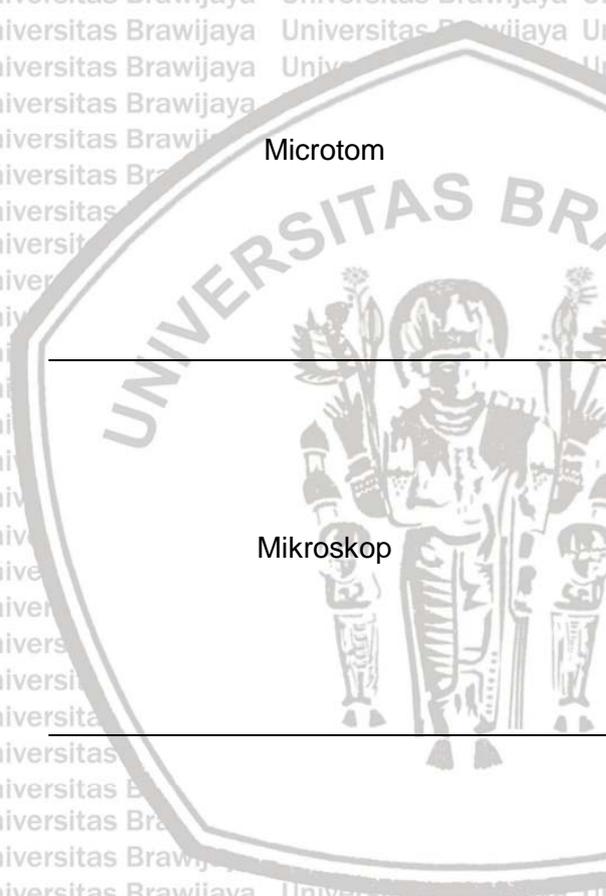


Alat bedah



pH Meter





Salinometer



Microtom



Mikroskop



Pengukuran Kerang Hijau



Pengambilan Lambung dan Insang



Proses Fiksasi Organ Kerang Hijau



Budidaya Kerang Hijau



Supervisi



Lampiran 3. Data Intensitas Metallothionein pada Insang

Sampel	Intensitas (pixel)			Rata-Rata	Standar deviasi
	1	2	3		
1	46957	48071	49404	48144	1225.13
2	53812	51893	54560	53422	1375.68
3	60254	61043	60134	60477	493.83
4	91838	91803	92551	92064	422.12
5	67964	67393	68582	67980	594.65



Lampiran 4. Data Intensitas Metallothionein pada Insang

Sampel	Intensitas (pixel)			Rata-Rata	Standar deviasi
	1	2	3		
1	44917	32975	42194	40029	6258.54
2	43562	41783	41362	42236	1167.77
3	52154	51843	50477	51491	892.10
4	71967	54728	65713	64136	8727.03
5	54727	57393	58721	56947	2034.01



Lampiran 5. Data Densitas Metallothionein pada Insang

Titik Sampel	Jumlah Metallothionein (MT/ μ^2)	Luas lapang Pandang	Densitas (MT/ μ^2)
1	5435	670716	0.00810
2	6170	670716	0.00920
3	6382	670716	0.00952
4	6550	670716	0.00977
5	6533	670716	0.00974



Lampiran 6. Data Densitas Metallothionein pada Lambung

Titik Sampel	Jumlah Metallothionein (MT/ μ^2)	Luas lapang Pandang	Densitas (MT/ μ^2)
1	5297	670716	0.00790
2	5709	670716	0.00851
3	5744	670716	0.00856
4	6013	670716	0.00897
5	5909	670716	0.00881



Lampiran 7. Output Analisis Regresi Berganda antara Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu Kerang Hijau dengan Intensitas Metallothionein pada Insang.

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Logam Kerang Hijau, Ukuran ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: Intensitas MT Insang			
b. All requested variables entered.			

Model Summary ^b					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	0.946 ^a	0.895	0.791	7853.16523	3.006
a. Predictors: (Constant), Logam Kerang Hijau, Ukuran					
b. Dependent Variable: Intensitas MT Insang					

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1054931322.892	2	527465661.446	8.553	0.105 ^b
	Residual	123344408.308	2	61672204.154		
	Total	1178275731.200	4			
a. Dependent Variable: Intensitas MT Insang						
b. Predictors: (Constant), Logam Kerang Hijau, Ukuran						

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	-165670.533	361372.014		-.458	0.692		
	Ukuran	26331.692	47286.331	0.533	0.557	0.634	0.057	17.487
	Logam Kerang Hijau	30967.496	70489.131	0.420	0.439	0.703	0.057	17.487
a. Dependent Variable: Intensitas MT Insang								

Collinearity Diagnostics ^a						
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Ukuran	Logam Kerang Hijau
1	1	2.871	1.000	0.00	0.00	0.00
	2	0.129	4.717	0.00	0.00	0.06
	3	0.000043	257.029	1.00	1.00	0.94
a. Dependent Variable: Intensitas MT Insang						

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	47366.5703	85402.1094	64417.4000	16239.85316	5
Residual	-6906.12842	6661.89014	0.00000	5553.02639	5
Std. Predicted Value	-1.050	1.292	0.000	1.000	5
Std. Residual	-.879	0.848	0.000	0.707	5

a. Dependent Variable: Intensitas MT Insang



Lampiran 8. Output Analisis Regresi Berganda antara Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu Kerang Hijau dengan Intensitas Metallothionein pada Lambung.

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Logam Kerang Hijau, Ukuran ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: Intensitas MT Lambung			
b. All requested variables entered.			

Model Summary ^b					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	0.999 ^a	0.999	0.997	545.89103	1.950
a. Predictors: (Constant), Logam Kerang Hijau, Ukuran					
b. Dependent Variable: Intensitas MT Lambung					

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	404731744.767	2	202365872.383	679.087	0.001 ^b
	Residual	595994.033	2	297997.017		
	Total	405327738.800	4			
a. Dependent Variable: Intensitas MT Lambung						
b. Predictors: (Constant), Logam Kerang Hijau, Ukuran						

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	-104824.121	25119.775		-4.173	0.053		
	Ukuran	18052.258	3286.978	.623	5.492	0.032	0.057	17.487
	Logam Kerang Hijau	16570.278	4899.857	.383	3.382	0.077	0.057	17.487
a. Dependent Variable: Intensitas MT Lambung								

Collinearity Diagnostics ^a						
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Ukuran	Logam Kerang Hijau
1	1	2.871	1.000	0.00	0.00	0.00
	2	0.129	4.717	0.00	0.00	0.06
	3	0.000043	257.029	1.00	1.00	0.94
a. Dependent Variable: Intensitas MT Lambung						

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	40473.0977	63995.4180	50967.8000	10058.97292	5
Residual	-444.09958	470.41873	0.00000	386.00325	5
Std. Predicted Value	-1.043	1.295	0.000	1.000	5
Std. Residual	-.814	0.862	0.000	0.707	5

a. Dependent Variable: Intensitas MT Lampung



Lampiran 9. Output Analisis Regresi Berganda antara Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu Kerang Hijau dengan Densitas Metallothionein pada Insang.

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Logam Kerang Hijau, Ukuran ^b		Enter
a. Dependent Variable: Densitas MT Insang			
b. All requested variables entered.			

Model Summary ^b					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	0.833 ^a	0.694	0.389	0.0005398	1.912
a. Predictors: (Constant), Logam Kerang Hijau, Ukuran					
b. Dependent Variable: Densitas MT Insang					

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	0.000	2	0.000	2.272	0.306 ^b
	Residual	0.000	2	0.000		
	Total	0.000	4			
a. Dependent Variable: Densitas MT Insang						
b. Predictors: (Constant), Logam Kerang Hijau, Ukuran						

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	0.013	0.025		0.521	0.655		
	Ukuran	-.001	0.003	-0.309	-.189	0.867	0.057	17.487
	Logam Kerang Hijau	0.003	0.005	1.130	0.691	0.561	0.057	17.487
a. Dependent Variable: Densitas MT Insang								

Collinearity Diagnostics ^a						
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Ukuran	Logam Kerang Hijau
1	1	2.871	1.000	0.00	0.00	.00
	2	.129	4.717	0.00	0.00	.06
	3	0.000043	257.029	1.00	1.00	.94
a. Dependent Variable: Densitas MT Insang						

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	0.008620	0.009964	0.009266	0.0005754	5
Residual	-0.0005197	0.0004158	0.000	0.0003817	5
Std. Predicted Value	-1.123	1.213	0.000	1.000	5
Std. Residual	-0.963	0.770	0.000	0.707	5

a. Dependent Variable: Densitas MT Insang



Lampiran 10. Output Analisis Regresi Berganda antara Hubungan Ukuran Kerang Hijau dan Logam Berat Cu Kerang Hijau dengan Densitas Metallothionein pada Lambung.

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Logam Kerang Hijau, Ukuran ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: Densitas MT Lambung			
b. All requested variables entered.			

Model Summary ^b					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	0.912 ^a	0.831	0.662	0.0002377	1.770
a. Predictors: (Constant), Logam Kerang Hijau, Ukuran					
b. Dependent Variable: Densitas MT Lambung					

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	0.000	2	.000	4.913	0.169 ^b
	Residual	0.000	2	.000		
	Total	0.000	4			
a. Dependent Variable: Densitas MT Lambung						
b. Predictors: (Constant), Logam Kerang Hijau, Ukuran						

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	0.013	0.011		1.198	0.354		
	Ukuran	-0.001	0.001	-0.580	-0.477	0.681	0.057	17.487
	Logam Kerang Hijau	0.003	0.002	1.464	1.204	0.352	0.057	17.487
a. Dependent Variable: Densitas MT Lambung								

Collinearity Diagnostics ^a						
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Ukuran	Logam Kerang Hijau
1	1	2.871	1.000	0.00	0.00	0.00
	2	0.129	4.717	0.00	0.00	0.06
	3	0.000043	257.029	1.00	1.00	0.94
a. Dependent Variable: Densitas MT Lambung						

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	0.008128	0.008989	0.008550	0.0003726	5
Residual	-0.0002276	0.0001821	0.000	0.0001681	5
Std. Predicted Value	-1.134	1.179	0.000	1.000	5
Std. Residual	-0.957	0.766	0.000	0.707	5

a. Dependent Variable: Densitas MT Lambung

