

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses pencemaran perairan pantai pada umumnya disebabkan oleh berbagai kegiatan yang merupakan sumber bahan pencemar perairan laut antara lain pemukiman, industri, transportasi, dan pertanian. Kegiatan-kegiatan tersebut berpotensi menghasilkan bahan pencemar yang merusak sistem kehidupan di dalam ekosistem pantai. Polusi air adalah penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normal, dengan demikian perairan yang sudah tidak lagi berfungsi secara normal dapat dikategorikan sebagai perairan tercemar (Fardiaz, 1992).

Salah satu jenis bahan pencemar adalah logam berat, yang masuk ke muara sungai dan estuari kemudian tersebar dan akan mengalami proses pengendapan, sehingga terjadi penyebaran zat pencemar pada air, sedimen dan organisme. Senyawa logam berat biasanya banyak terdapat dalam limbah industri. Keberadaan logam berat di perairan laut dan muara sungai dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain dari kegiatan pertambangan, rumah tangga, limbah pertanian dan buangan industri (Rochyantun *et al.*, 2006).

Kadar logam berat dalam air laut mengalami peningkatan karena adanya masukan limbah yang mengandung logam berat ke lingkungan laut. Logam berat banyak terkandung pada limbah yang biasanya berasal dari kegiatan industri, pertambangan, pemukiman dan pertanian (Maslukah, 2006). Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi, kemudian diserap oleh organisme yang hidup diperairan tersebut. Apabila konsentrasi logam lebih besar dari daya larut terendah komponen yang terbentuk antara logam dan asam yang ada dalam air seperti karbonat, hidroksil dan klorida, maka logam tersebut akan diendapkan (Ruslan, 2010).

Kadar logam berat yang meningkat pada air laut akan mengakibatkan logam berat yang semula dibutuhkan untuk berbagai proses metabolisme logam esensial akan berubah menjadi racun bagi organisme laut. Selain bersifat racun, logam berat juga akan terakumulasi dalam sedimen dan biota melalui proses gravitasi dan biomagnifikasi. Penyebaran bahan pencemar terutama logam berat dalam perairan dengan proses pengendapan akan mempengaruhi siklus hidup dari hewan perairan terutama moluska dari kelas bivalvia yang mendapatkan makanan (biasanya partikel-partikel kecil) dengan menyaringnya dari air atau disebut *filter feeder* (Emersida *et al.*, 2014). Menurut Callahan (1979), bahwa bioakumulasi merupakan proses yang menentukan keberadaan logam tertentu di dalam biota. Beberapa jenis logam yang dapat terlibat dalam proses bioakumulasi adalah As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, dan Zn.

Kerang hijau (*Perna viridis*) tersebar secara luas sepanjang pesisir wilayah Indo-Pasifik. Spesies ini memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi sehingga banyak negara telah melakukan kegiatan budidayanya. Produksi dunia untuk kerang hijau dari kegiatan budidaya menunjukkan peningkatan yang signifikan yaitu dari sekitar 30.000 ton di tahun 1980-an menjadi sekitar 300.000 ton di tahun 2008 (FAO, 2011). Pesatnya perkembangan budidaya kerang hijau disebabkan karena mudahnya teknik budidaya spesies tersebut, dibandingkan dengan teknologi budidaya biota lainnya. Metode budidaya yang umumnya digunakan adalah metode tancap dengan kombinasi tali dan kayu/bambu yang berfungsi sebagai media untuk spat dapat menempel dan berkembang (Vakily, 1989). Menurut Yennie dan Murtini (2005), 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.

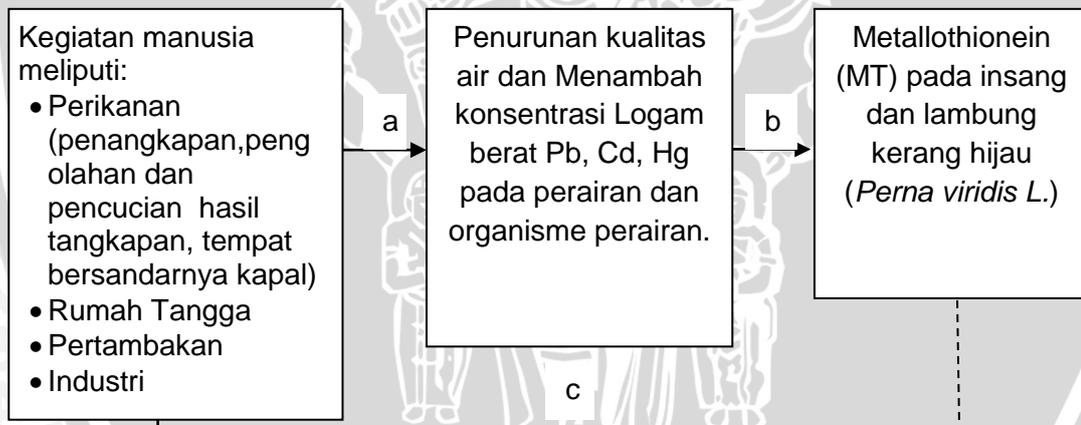
Metallothionein (MT) adalah salah satu jenis protein yang sangat peka dan akurat sebagai indikator pencemaran. Hal ini didasarkan pada suatu fenomena alam di mana logam-logam dapat tersekap di dalam jaringan tubuh organisme yang dimungkinkan karena adanya protein tersebut. Dengan demikian, metallothionein merupakan protein pengikat logam (*metal-binding protein*) yang berfungsi dan berperan dalam proses pengikatan/penyekapan logam di dalam jaringan setiap makhluk hidup. Metallothionein dapat terinduksi ditemukan di semua golongan makhluk hidup (misalnya mamalia, ikan, moluska/kerang-kerangan, zooplankton dan fitoplankton) dan di berbagai tingkat jaringan/organ (misalnya hati, ginjal, insang, testis, usus, otot, plasma, eritrosit, sel-sel epitelial dan urine). Konsentrasinya dalam jaringan (hati, insang, kelenjar pencernaan) meningkat ketika organisme terkontaminasi pada unsur-unsur logam (Lasut, 2002).

Pengukuran metallothionein (MT) ini diharapkan pencemaran logam (khususnya logam berat yang sangat berbahaya) di perairan laut dapat dideteksi secara dini pada tingkat konsentrasi logam yang sangat rendah, dimana konsentrasi tersebut tidak dapat diukur dengan alat ukur yang ada. Dengan demikian keberadaan logam di perairan laut dapat diketahui secara dini dan akurat. Pantai Ngemboh, Pantai Banyu Urip dan Pantai Kenjeran terletak pada satu garis pantai yang sama dan memiliki karakteristik pantai berlumpur, berpasir dan terdapat beberapa mangrove di sekitar pantai dengan adanya budidaya kerang hijau (*Perna viridis L.*) serta memiliki sumberdaya perikanan dengan berbagai macam aktifitas manusia seperti penangkapan, pengolahan bahkan pencucian hasil tangkapan laut, pertambakan, industri dan dekat dengan pemukiman penduduk yang menghasilkan berbagai macam bahan pencemar logam berat yang sangat tinggi dan bahkan melampaui batas toleransi. Berdasarkan karakteristik dari pantai tersebut diduga kerang hijau (*Perna viridis*

L.) yang mendominasi keberadaannya memiliki tingkat pencemaran yang tinggi, sehingga dari keberadaan tingkat pencemaran tersebut diduga akan mempengaruhi pula terhadap kadar MT yang ada di dalam tubuh organisme seperti kerang hijau ini.

Dengan mempertimbangkan potensi bivalvia yang sangat tinggi sebagai bahan pangan dan efek dari logam berat yang masuk ke dalam tubuh organisme akuatik akan berakibat kurang baik, apabila dikonsumsi oleh manusia akan menyebabkan keracunan maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kadar logam berat Pb, Cd dan Hg serta kandungan MT pada kerang hijau (*Perna viridis* L.) melalui organ insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis* L.) yang ada di pantai Ngemboh, Pantai Banyu Urip dan Pantai Kenjeran.

1.2. Rumusan Masalah



Gambar 1. Bagan alur perumusan masalah

Keterangan :

- Kegiatan manusia pada sekitar wilayah perairan pantai Ngemboh, pantai Banyu urip dan pantai Kenjeran yakni seperti aktivitas perikanan (penangkapan, pengolahan dan pencucian hasil tangkapan, tempat bersandarnya kapal), aktivitas rumah tangga yang menghasilkan limbah domestik, aktivitas pertambakan yang menghasilkan limbah, dan kegiatan industri disekitar perairan yang jika dibuang ke perairan dapat

mempengaruhi konsentrasi logam esensial dan non esensial serta mempengaruhi perubahan faktor fisika dan kimia air.

- b. Perubahan kualitas air dan konsentrasi logam berat Pb, Cd dan Hg di perairan akan mempengaruhi kandungan MT pada tubuh organisme sebagai protein pengikat logam berat.
- c. Kandungan MT dapat dijadikan sebagai biomarker pencemaran logam berat Pb, Cd dan Hg yang nantinya dapat digunakan sebagai acuan dalam mengendalikan kegiatan manusia di perairan pantai Ngemboh, pantai Banyu Urip dan Pantai Kenjeran.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar MT pada insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) serta kadar logam berat Pb, Cd dan Hg pada insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) di Perairan Pantai Ngemboh, Pantai Banyu Urip dan Pantai Kenjeran.

1.4. Kegunaan

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kandungan MT pada insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) dan kandungan logam berat Pb, Cd, Hg di perairan Pantai Ngemboh, Pantai Banyu Urip dan Pantai Kenjeran yang nantinya dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk pengelolaan dan pemanfaatan perairan Pantai Ngemboh, Pantai Banyu urip dan Pantai Kenjeran. Kemudian agar dapat mengendalikan aktivitas manusia di sekitar pantai Ngemboh, Banyu Urip dan Kenjeran serta dapat juga digunakan sebagai bahan rujukan bagi ilmu pengetahuan dan teknologi pada bidang teknik biomarker lingkungan dengan mengetahui kadar MT pada insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*).

1.5. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2016 – Maret 2016 di Perairan Pantai Ngemboh Kab. Gresik, Pantai Banyu Urip Kab. Gresik dan Pantai Kenjeran, Kota Surabaya. Analisis kandungan MT dilakukan di laboratorium Fisiologi / Ilmu Faal Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya dan untuk analisis kualitas air dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang. Analisis Kandungan logam berat dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya, Malang.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerang Hijau

Menurut Eshmat, *et al.* (2014), Kerang hijau (*Perna viridis* L) merupakan salah satu jenis kerang yang digemari masyarakat, memiliki nilai ekonomis, dan kandungan gizi yang sangat baik untuk dikonsumsi. Kerang hijau (*Perna viridis* L.) mempunyai potensi besar untuk dimanfaatkan, karena populasinya cukup besar di Perairan Indonesia. Volume produksi kerang-kerangan dari tahun 2003-2007 berturut-turut adalah sebesar 2.869 ton, 12.991 ton, 16.348 ton, 18.896 ton dan 15.623 ton. Budidaya kerang hijau relatif mudah dilakukan di perairan pantai.

2.1.1 Biologi Kerang Hijau

Kerang hijau (*Perna viridis* L) merupakan biota yang hidup pada wilayah litoral (pasang surut) dan sub litoral yang dangkal. Kerang hijau dapat tumbuh pada perairan teluk, estuari, sekitar mangrove dan muara, dengan kondisi perairan yang memiliki substrat pasir berlumpur, dengan cahaya dan pergerakan yang cukup, serta kadar garam yang tidak terlalu tinggi (Setyobudiandi, 2000). Kerang (terutama kerang hijau) menempel pada substrat menggunakan benang-benang *byssus* yang dihasilkan oleh kelenjar *byssal* pada bagian kaki (Fernanda, 2012).

Kerang Hijau (*Perna viridis*) termasuk binatang lunak (moluska) yang hidup di laut, bercangkang dua dan berwarna hijau. Kerang hijau merupakan organisme yang termasuk kelas Pelecypoda. Golongan biota yang bertubuh lunak (mollusca). Kerang hijau merupakan hewan dari kelas Pelecypoda kelas ini selalu mempunyai cangkang katup sepasang maka disebut sebagai bivalvia. Hewan ini disebut juga yaitu pelecys yang artinya kapak kecil dan podos yang artinya kaki. Jadi Pelecypoda berarti hewan berkaki pipih seperti mata kapak.

Hewan kelas ini pun berinsang berlapis-lapis maka sering disebut Lamelli branchiata (Kastawi, 2008).

Cangkang dihubungkan oleh engsel elastis. Apabila cangkang terbuka kaki keluar untuk bergerak. Untuk menutup cangkang dilakukan oleh otot transversal yang terletak di akhir kedua ujung tubuh di bagian dekat dorsal, yaitu otot aduktor anterior dan posterior. Cangkok berjumlah dua (sepasang) ada di bagian anterior dan umbo (bagian yang membesar/menonjol) terdapat di bagian posterior (punggung). Adanya otot-otot aduktor ini menyebabkan dua cangkang dapat membuka dan menutup. Pada umumnya hidup di perairan baik air tawar maupun air laut yang banyak mengandung zat kapur yang digunakan untuk membentuk cangkangnya (Saquadah, 2010)

Alat pernapasan kerang berupa insang dan bagian mantel. Insang kerang berbentuk W dengan banyak lamella yang mengandung banyak batang insang. Pertukaran O_2 dan CO_2 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 (Saquadah, 2010). 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.

2.1.2 Klasifikasi Kerang Hijau (*Perna viridis* L.)

Kerang hijau merupakan organisme yang termasuk golongan biota yang bertubuh lunak (mollusca), bercangkang dua (bivalvia), insang berlapis

(lamellibrachiata), berkaki lapak (pelecypoda) dan hidup dilaut (Asikin, 1982).

Taksonomi kerang hijau menurut Asikin (1982) :

- Filum : Mollusca
 Kelas : Pelecypoda (Lamellibranchia, Bivalvia)
 Ordo : Filibrachia
 Famili : Pernaidae
 Genus : Perna
 Spesies : *Perna viridis* L.



Gambar 2. Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) (Dokumentasi pribadi, 2016)

Jika dibuat sayatan memanjang dan melintang, tubuh kerang akan tampak bagian-bagian sebagai berikut. Paling luar adalah cangkang yang berjumlah sepasang, fungsinya untuk melindungi seluruh tubuh kerang. Mantel, jaringan khusus, tipis dan kuat sebagai pembungkus seluruh tubuh yang lunak. Pada bagian belakang mantel terdapat dua lubang yang disebut sifon. Sifon atas berfungsi untuk keluarnya air, sedangkan sifon bawah sebagai tempat masuknya air. Insang, berlapis-lapis dan berjumlah dua pasang. Dalam insang ini banyak mengandung pembuluh darah. Kaki pipih. Bila akan berjalan kaki dijulurkan ke anterior. Di dalam rongga tubuhnya terdapat berbagai alat dalam seperti saluran pencernaan yang menembus jantung, alat peredaran, dan alat ekskresi (ginjal) (Kastawi, 2008).

2.1.3 Makanan dan Kebiasaan Makan Kerang

Berdasarkan cara memperoleh makanannya, moluska bivalvia digolongkan dalam kelompok *filter feeder*. Apabila makanan diperoleh dengan menyaring fitoplankton dari perairan yang ditempati, maka disebut sebagai *suspension feeder*. Apabila makanan atau bahan organik diambil dari substratum tempat hidupnya maka disebut sebagai *deposit feeder* (Setyobudiandi, 2000). Kerang merupakan makhluk "filter feeder" yang mengakumulasi bahan-bahan yang tersaring di dalam insangnya. Dalam prosesnya bakteri dan mikroorganisme lain yang ada di sekelilingnya dapat terakumulasi dan mencapai jumlah yang membahayakan untuk dikonsumsi (Leslie dan lee 1984 dalam Kasry 2003).

Kerang hijau (*Perna viridis* L.) dewasa dapat menghasilkan telur lebih kurang 1,2 juta. Pemijahan ini terjadi akibat adanya rangsangan alami seperti perubahan suhu dan salinitas. Sel telur yang telah dibuahi akan berkembang dan menetas menjadi larva. Larva kerang hijau bersifat planktonik, yaitu melayang di air dan terbawa arus selama dua minggu. Larva akan mengalami beberapa kali perubahan bentuk (metamorphosa). Pada akhir stadia larva, kerang hijau akan mengalami perubahan cara hidup dari planktonik menjadi *sessil* (tinggal diam dan menempel). Pada saat itu apabila larva tidak mendapatkan substrat maka akan segera mati.

Kecepatan tumbuh kerang hijau berkisar antara 0,7-1,0 cm per bulan. Menurut Roberts (1976) kelas bivalvia telah digunakan oleh ahli ekologi dalam menganalisis pencemaran air. Hal ini karena sifatnya yang menetap dan cara makan pada umumnya *filter feeder*, sehingga mempunyai kemampuan mengakumulasi bahan-bahan polutan seperti logam berat.

2.1.4 Mekanisme Penyerapan Makanan oleh Kerang

Kerang (Bivalvia) memperoleh makanan dengan cara *filter feeder* dan hidupnya menetap (*sessil*) di habitatnya (Wulandari *et al.*, 2009), proses penyaringan air dimulai dari sifon inkuren dan tersaring di insang (Barnes, 1968 dalam Abdulgani *et al.*, 2008). Dalam kebiasaan makan, suatu makanan bisa dimakan atau ditolak, maka kekerangan mendeteksinya melalui sistem sensor syaraf (Hughes, 1986 dalam Setyono, 2006). Ketika makanan yang disaring oleh bivalvia dari perairan berupa fitoplankton, maka disebut *suspension feeder*, dan apabila berupa bahan organik yang diambil dari substrat maka disebut *deposit feeder* (Setyobudiandi, 2000).

Menurut Barnes (1986), proses penyaringan pada bivalvia masuk melalui sifon inkuren dan tersaring di insang. Penyusun utama lapisan membran insang adalah epitel pipih selapis dan berhubungan langsung dengan sistem pembuluh dan diduga logam berat yang masuk bersamaan dengan partikel makanan mengalami difusi melalui membran insang dan terbawa aliran darah. Insang bivalvia, termasuk *Perna viridis* mempunyai mucus atau lendir yang penyusun utamanya adalah glikoprotein. Sehingga diduga logam tersebut terikat menjadi MT karena penyusun utamanya adalah sistein yaitu protein yang tergolong dalam gugus sulfidril (-SH) yang mampu mengikat logam. Oleh karena sifat mucus insang yang mengalami regenerasi, maka logam berat (termasuk kadmium) yang telah terikat pada mucus insang turut terlepas dari tubuhnya (Overnell dan Sparla, 1990). Berlanjut masih terkait dengan mekanisme filter-feeder, Menurut Pechenik (2000), aliran air laut akan berlanjut menuju ke labial palp dimana pada bagian tersebut akan melalui beberapa proses penyaringan dengan cilia-cilia. Partikel yang berukuran kecil akan lolos, sementara yang berukuran besar akan dikeluarkan kembali melalui sifon-inkuren dalam bentuk pseudofeces.

Kerang hijau makan dengan cara menyaring makanan yang terlarut di dalam air (filter feeder) (Riani, 2004). Kerang hijau digolongkan dalam kelompok filter feeder, karena kerang hijau memperoleh makanan dengan cara menyaring partikel-partikel atau organisme mikro yang berada dalam air dengan menggunakan sistem sirkulasi. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Vakily (1989) yang menyatakan semua bivalva *lamelli branch* termasuk *filter feeder*. Cilia khusus terletak antara filamen insang yang berfungsi menghasilkan aliran air yang memindahkan air ke dalam bagian inhalent pada mantle cavity (rongga mantel) dan ke arah atas ke dalam rongga exhalent (Martin, 2005).

Partikel makanan atau material tersuspensi lainnya yang berukuran lebih besar dari ukuran tertentu disaring dan air oleh cilia insang dan dihimpun pada bagian rongga inhalent berhadapandengan lamellae insang. Material ini kemudian dipindahkan oleh cilia lainnya ke arah tepi bagian ventral insang atau di bagian dasar organ yang berbentuk huruf-W dimana terletak alur makanan (food grooves). Setelah berada di food grooves, makanan bergerak ke arah depan hingga mencapai palps, yang berada di sisi mulut. Material berukuran halus dibawa oleh cilia ke dalam mulut. Partikel yang lebih kasar dihimpun di tepi palps dari secara periodik dikeluarkan oleh proses kontraksi otot ke dinding mantel (Martin, 2005).

2.2 Metallothionein

MT merupakan biomarker yang bersifat universal. MT tidak hanya dapat digunakan sebagai biomarker pada penelitian skala laboratorium, tetapi juga dapat digunakan di perairan bebas seperti laut, danau, teluk maupun sungai. Disamping itu dapat digunakan untuk deteksi logam berat yang terakumulasi pada organ tubuh ikan maupun yang terpapar di perairan. MT juga merupakan biomarker (penanda biologis) untuk peringatan dini (*early warning*) terhadap

paparan logam berat (Cd, Pb dan Hg) sejak tingkat sub seluler, reaksi awal sebelum respon terjadi pada tingkatan organisasi (spektrum) biologi yang lebih tinggi. Dengan demikian terjadinya pencemaran di tingkat sub seluler sudah dapat diketahui, sehingga pencemaran di tingkat ekosistem dapat dicegah atau tidak akan terjadi (Dewi *et al.*, 2014).

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

MT terdiri dari protein (polipeptida) yang mempunyai massa molekul yang kecil (6-7 kDa), dan sifat utamanya adalah mengandung 26-33% 'cysteine' serta tidak mempunyai asam amino aromatik atau histidin. Sebagai konsekuensi dari banyaknya kandungan asam amino 'cysteine' maka protein ini mengandung kelompok 'thiol' (sulfhydryl, -SH) dalam jumlah yang besar. Kelompok ini mengikat logam-logam berat sangat kuat, khususnya merkuri (Hg), kadmium (Cd), perak (Ag), seng (Zn) dan tin. Redisu sulfhydryl dari 'cysteine' mampu mengikat logam, di mana 1 atom logam (misalnya: Cd, Zn atau Hg) untuk 3 residu -SH, atau 1 atom logam 2 residu -SH (Lasut, 2002).

Prosedur pengukuran tingkat pencemaran di perairan, khususnya untuk perairan Indonesia telah banyak dibuat, namun sedikit saja yang dapat dikategorikan sebagai prosedur yang peka, akurat dan dapat diandalkan. Apalagi pencemaran yang dimaksud adalah pencemaran yang disebabkan oleh logam berat yang berdampak luas sampai pada manusia. Salah satu alternatif prosedur pengukuran yang masuk dalam kategori peka, akurat dan dapat diandalkan serta

dapat diaplikasikan di perairan Indonesia adalah pengukuran dengan menggunakan indikator metallothionein (Lasut, 2002).

2.3 Logam Berat

Logam adalah unsur alam yang diperoleh dari erosi batuan, laut, vulkanisme dan lain sebagainya (Clark, 1986). Unsur-unsur dalam golongan logam pada umumnya memiliki daya hantar serta daya panas yang tinggi. Menurut densitasnya, logam dibagi menjadi dua golongan yaitu golongan logam ringan (*light metal*) yang mempunyai densitas $<5 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan logam berat (*heavy metal*) mempunyai densitas $>5 \text{ gr/cm}^3$ (Hutagalung *et al.*, 1997). Selain itu Sanusi (2006), juga mengemukakan bahwa logam berat di perairan terdiri atas logam berat esensial dan non esensial. Logam berat yang sering mencemari lingkungan atau non esensial adalah Hg, Cd, As, dan Pb. Selain logam berat non esensial (Hg, Cd, As, dan Pb) terdapat juga logam berat bersifat esensial dimana logam berat ini dibutuhkan dalam pembentukan haemosianin dalam darah dan sistem enzimatik, misalnya Cr, Ni, Cu, dan Zn.

Menurut Pratami (2005), logam berat umumnya bersifat racun terhadap makhluk hidup. Walaupun beberapa diantara logam diperlukan dalam jumlah kecil. Melalui berbagai perantara, seperti udara, makanan, maupun air yang terkontaminasi oleh logam berat, maka logam tersebut dapat terdistribusi ke dalam tubuh manusia dan sebagian akan terakumulasi. Jika keadaan ini berlangsung terus-menerus dalam jangka waktu yang lama dapat mencapai jumlah yang membahayakan kesehatan manusia. Darmono (1995), mengatakan bahwa sifat logam berat sangat unik, tidak dapat dihancurkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses biomagnifikasi. Pencemaran logam berat ini menimbulkan berbagai permasalahan antara lain berhubungan dengan estetika (perubahan bau, warna dan rasa air), berbahaya

bagi kehidupan tanaman dan binatang, berbahaya bagi kesehatan manusia dan menyebabkan kerusakan pada ekosistem.

2.3.1 Timbal (Pb)

Timbal atau timah hitam yang dalam bahasa ilmiah dikenal dengan kata plumbum dan disymbol dengan Pb, merupakan logam lunak dengan titik leleh $327,502^{\circ}\text{C}$ dan titik didih 1620°C . Logam ini termasuk ke dalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada tabel periodik unsur kimia. Walaupun bersifat lunak dan lentur, timbal sangat rapuh dan mengkerut pada pendinginan, sulit larut dalam air dingin, air panas dan air asam. Timbal dapat larut dalam asam nitrit, asam asetat dan asam sulfat pekat. Sebagai salah satu logam berat, ternyata timbal merupakan unsure yang potensial menyebabkan pencemaran lingkungan (Fernanda, 2012). Logam ini mudah dimurnikan sehingga banyak digunakan oleh manusia pada berbagai kegiatan misalnya pertambangan, industri dan rumah tangga. Pada pertambangan timbal berbentuk senyawa sulfida (PbS). Palar (2012), menjelaskan masuknya logam Pb ke dalam perairan dapat melalui proses pengendapan yang berasal dari aktivitas di darat seperti industri, rumah tangga dan erosi, jatuhnya partikel-partikel dari sisa proses pembakaran yang mengandung tetraetil Pb, air buangan dari pertambangan bijih timah hitam dan buangan sisa industri baterai.

Logam Pb bersifat toksik pada manusia dan dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis. Keracunan akut biasanya ditandai dengan rasa terbakar pada mulut, adanya rangsangan pada sistem gastro intestinal yang disertai dengan diare. Sedangkan gejala kronis umumnya ditandai dengan mual, anemia, sakit di sekitar mulut, dan dapat menyebabkan kelumpuhan (Darmono, 2001). Daya racun dari Pb disebabkan terjadi penghambatan proses kerja enzim oleh ion-ion Pb^{2+} . Penghambatan tersebut menyebabkan terganggunya

pembentukan hemoglobin darah. Hal ini disebabkan adanya bentuk ikatan yang kuat (ikatan kovalen) antara ion-ion Pb^{2+} dengan gugus sulphur di dalam asam-asam amino (Fardiaz, 1992). Menurut Hamzah dan Agus (2010), daya kelarutan Pb sangat rendah dan bersifat pasif, selain itu Pb memiliki daya translokasi yang rendah mulai dari akar sampai organ tumbuhan lainnya. Pb juga memiliki toksisitas yang tertinggi dan menyebabkan racun bagi beberapa spesies.

2.3.2 Merkuri (Hg)

Merkuri adalah unsur yang mempunyai nomor atom ($NA=80$) serta mempunyai massa molekul relatif ($MR=200,59$). Merkuri diberikan simbol kimia Hg yang merupakan singkatan yang berasal dari bahasa Yunani *Hydrargyricum*, yang berarti cairan perak. Bentuk fisik dan kimianya sangat menguntungkan karena merupakan satu-satunya logam yang berbentuk cair dalam suhu kamar ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$), titik bekunya paling rendah ($-39\text{ }^{\circ}\text{C}$), mempunyai kecenderungan menguap lebih besar, mudah bercampur dengan logam-logam lain untuk menjadi logam campuran (Amalgam/Alloi), serta dapat menghasilkan arus listrik sebagai konduktor yang baik untuk tegangan arus listrik (Apriadi, 2005).

Di perairan alami logam berat merkuri terdapat dalam bentuk Hg, Hg^+ dan Hg^{2+} yang ditentukan oleh kondisi reduksi atau oksidasi. Perairan dengan oksigen terlarut cukup baik ($Fh \geq 0,5\text{ mV}$) menyebabkan Hg^{2+} yang terlarut menjadi dominan. Dalam keadaan reduksi atau fakultatif akan terbentuk Hg dan Hg^+ , dan apabila terdapat sulfid akan terbentuk senyawa HgS (Sanusi, 2006).

Merkuri dan turunannya mempunyai sifat yang sangat beracun, sehingga kehadirannya di lingkungan perairan dapat mengakibatkan kerugian pada manusia karena sifatnya yang mudah larut dan terikat dalam jaringan tubuh organisme air. Pencemaran merkuri di perairan mempunyai pengaruh terhadap ekosistem setempat yang disebabkan oleh sifatnya yang stabil dalam sedimen,

kelarutannya yang rendah dalam air dan kemudahannya diserap dan terkumpul dalam jaringan tubuh organisme air, baik melalui proses *bioaccumulation* maupun *biomagnification* yaitu melalui *food chain* (Kristiyanti, 2008).

2.3.3 Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) adalah salah satu logam berat dengan penyebaran yang sangat luas di alam, logam ini bernomor atom 48, berat atom 112,40 dengan titik cair 321°C dan titik didih 765°C. Di alam Cd bersenyawa dengan belerang (S) sebagai *greenocckite* (CdS) yang ditemui bersamaan dengan senyawa *spalerite* (ZnS). Kadmium merupakan logam lunak (*ductile*) berwarna putih perak dan mudah teroksidasi oleh udara bebas dan gas amonia (NH₃) (Palar, 2004). Darmono (1995) mengatakan bahwa kadmium selalu bercampur dengan logam lain, terutama dalam pertambangan zink dan timbal selalu ditemukan kadmium dengan kadar 0,2 sampai 0,4%, sebagai hasil sampingan dari proses pemurnian zink dan timbal.

Kadmium bervalensi dua (Cd²⁺) adalah bentuk terlarut stabil dalam lingkungan perairan laut pada pH dibawah 8,0. Kadar Cd di perairan alami berkisar antara 0,29-0,55 ppb dengan rata-rata 0,42 ppb. Dalam lingkungan alami yang bersifat basa, cadmium mengalami hidrolisis, teradsorpsi oleh padatan tersuspensi dan membentuk ikatan kompleks dengan bahan organik. Di perairan alami, Cd membentuk ikatan kompleks dengan ligan baik organik maupun anorganik, yaitu Cd²⁺, Cd(OH)⁺, CdCl⁺, CdSO₄, CdCO₃ dan Cd organik (Sanusi, 2006). Logam Cd atau kadmium mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Sumber kadmium dapat berasal dari pabrik peleburan besi, baja, produksi semen, pembakaran sampah, dan penggunaan logam yang berhubungan dengan hasil produksinya (pabrik baterai, aki, pigmen warna, pestisida, gelas, dan keramik) (Darmono, 1995).

2.4 Mekanisme Penyerapan Logam

Menurut Darmono (2001), menyatakan logam masuk ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup melalui beberapa jalan, yaitu saluran pernapasan, pencernaan dan penetrasi melalui kulit. Adsorpsi logam melalui saluran pernapasan biasanya cukup besar, baik pada hewan air yang masuk melalui insang maupun hewan darat yang masuk melalui debu di udara ke saluran pernapasan. Absorpsi melalui saluran pencernaan hanya beberapa persen saja tetapi jumlah logam yang masuk melalui saluran pencernaan biasanya cukup besar walaupun persentasenya relatif kecil. Dalam tubuh hewan logam diabsorpsi oleh darah, berkaitan dengan protein darah yang kemudian didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh. Akumulasi logam yang tertinggi biasanya dalam organ detoksikasi (hati) dan ekskresi (ginjal). Di dalam kedua jaringan tersebut biasanya logam juga berkaitan dengan berbagai jenis protein baik enzim maupun protein lain yang disebut MT

Menurut Hariono (2005), proses masuknya senyawa timbal ke dalam tubuh dapat melalui beberapa cara antara lain :

1. Sekitar 80% timbal masuk ke dalam tubuh melalui saluran pernapasan, kemudian masuk ke pembuluh darah. Timbal yang terhirup akan berikatan dengan darah dan diedarkan ke seluruh jaringan dan organ tubuh. Plasma darah berfungsi dalam mendistribusikan timbal dalam darah ke bagian syaraf, ginjal, hati, kulit dan otot skeletal atau rangka. Lebih dari 90% timbal yang terserap oleh darah berikatan dengan sel-sel darah merah (Palar, 2004).
2. Melalui makanan dan minuman (14%) yang akan ikut dimetabolisme oleh tubuh.

3. Penetrasi pada selaput atau lapisan kulit (1%), hal ini disebabkan senyawa timbal dapat larut dalam lemak. Senyawa timbal tersebut dapat melakukan penetrasi apabila partikel timbal menempel pada permukaan kulit.

2.5 Hubungan Logam Berat dan Metallothionein (MT)

MT merupakan suatu rantai polipeptida pendek, linier, terdiri dari 61 – 68 asam amino, kaya akan cystein (pada manusia terdiri dari 20 residu cystein), berbentuk "S" dan memiliki kemampuan untuk mengikat logam. Terdapat empat bentuk dari MT dan setiap MT memiliki fungsi yang spesifik. MT merupakan sistem utama yang dimiliki oleh tubuh dalam mendetoksifikasi air raksa, timbal, dan logam berat lain. Setiap logam berat memiliki afinitas yang berbeda terhadap MT. Berdasarkan afinitas tersebut, air raksa ternyata mempunyai afinitas yang paling kuat terhadap MT, dibandingkan dengan logam lain seperti tembaga, kadmium, perak, dan zinc. Bila MT berfungsi dengan baik dan/atau jumlah logam berat yang masuk tubuh tidak melebihi kemampuan MT untuk mengikat logam berat tersebut, maka seharusnya tidak akan menimbulkan gangguan akibat keracunan logam berat (Santosa, 2003).

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

Logam berat seperti kadmium (Cd) dapat menyebabkan karsinogen (gangguan metabolisme), mutagenik (mutasi gen) dan teratogenik (kelainan gen) pada beberapa jenis hewan termasuk pada bivalvia. Ketika berada di dalam sel,

salah satu logam berat seperti Cd akan menginduksi berbagai jenis mekanisme signal transduksi serta mengaktifkan banyak gen. Salah satu efek langsung yang ditimbulkan oleh logam berat Cd adalah mengganggu proses homeostasis sel. Mekanisme homeostasis sel terlaksana dengan keberadaan protein MT yang berperan sebagai protein pengikat logam dan mengurangi efek toksik (Rumahlatu, 2012).

2.6 Pengamatan Metallothionein (MT) dengan Metode ELISA

Enzim-linked immunosorbent assay (ELISA) atau disebut sebagai uji penentuan kadar imunisorben taut-enzim merupakan teknik pengujian serologi yang didasarkan pada prinsip interaksi antara antibodi dan antigen. Pada awalnya teknik ELISA hanya digunakan dalam bidang imunologi untuk mendeteksi keberadaan antigen maupun antibodi dalam suatu sampel seperti dalam pendeteksian antibodi IgM, IgG dan IgA pada saat terjadi infeksi (khususnya pada tubuh manusia). Namun seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, teknik ini juga dapat digunakan dalam menganalisis kadar hormon yang terdapat dalam suatu organisme (Farabi, 2012).

Setiawan (2007), menjelaskan bahwa ELISA (*Enzim-linked immunosorbent assay*) adalah tes serologis yang umumnya dilakukan dalam berbagai bentuk pada tipe antigen dan reagen yang digunakan pada saat melakukan tes. Teknik tes ELISA hanya dapat mendeteksi antibodi spesifik genus dan tidak dapat digunakan untuk mengidentifikasi serogrup atau serovar. Teknik ELISA merupakan teknik kuantitatif yang sangat sensitif, penggunaannya sangat luas, memerlukan peralatan yang sedikit, reagen yang diperlukan sudah tersedia dan dijual secara komersial, dan sangat mudah didapat. Pemeriksaan ELISA dapat digunakan untuk mendeteksi antibodi dalam tubuh manusia ataupun hewan/binatang. Terdapat berbagai teknik pemeriksaan ELISA. Tes ini

dapat dilakukan dengan kit yang sudah jadi atau dapat juga dilakukan dengan menggunakan antigen yang diolah sendiri. ELISA adalah tes serologis yang umumnya dilakukan dalam berbagai bentuk tergantung pada tipe antigen dan reagen yang digunakan pada saat melakukan tes. Penggunaan tes ini dapat digunakan pula dalam mengukur kadar MT dalam organisme yang dilakukan dengan mendeteksi antibodi.

ELISA adalah metode yang biasanya sering digunakan untuk mendeteksi protein target berdasarkan antigen dan antibodi spesifik. Kemudian ditambahkan konjugasi antibodi dengan enzim tertentu untuk memvisualisasikan interaksi antigen-antibodi dengan substrat enzim dan pengukuran terhadap kode yang dihasilkan. Metode ELISA telah diterapkan dalam penentuan MT pada sejumlah sampel termasuk sel hepatitis, sel sertoli tikus yang terpapar kadmium dan urin anak-anak yang berada di lingkungan tercemar (Ryvolova *et al.*, 2011).

2.7 Kondisi Fisika dan Kimia Air

Kualitas air merupakan salah satu hal yang paling penting untuk diketahui dalam ekosistem perairan. Kualitas air merupakan penentu keadaan kehidupan. Hal itu dikarenakan kehidupan ekosistem perairan sangat mutlak tergantung pada kondisi perairan dalam hal ini adalah kualitas air (Bagus, 2011). Parameter fisika dan kimia lingkungan perairan sangat mempengaruhi organisme yang hidup ditempat tersebut khususnya bivalvia dan gastropoda (Yuniarti, 2012).

Pengamatan untuk menentukan kualitas perairan laut dapat dilakukan dengan mengukur suhu, pH (potential Hydrogen), oksigen terlarut/DO (*Dissolved Oxygen*), dan salinitas

2.7.1 Suhu

Barus (1996), menyatakan bahwa kelarutan berbagai jenis gas di air serta semua aktivitas biologis-fisiologis di dalam ekosistem akuatik sangat dipengaruhi

oleh suhu. Menurut hukum Van't Hoff kenaikan suhu sebesar 10 °C (hanya pada kisaran suhu yang masih dapat ditolelir) akan meningkatkan aktifitas biologis (misalnya respirasi) pada organisme sebesar 2-3 kali lipat. Suhu perairan dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang masuk kedalam air. Suhu selain berpengaruh terhadap berat jenis, viskositas dan densitas air, juga berpengaruh terhadap kelarutan gas dan unsur-unsur dalam air, sedangkan perubahan suhu dalam kolom air akan menimbulkan arus secara vertikal.

Suhu adalah parameter lingkungan yang sangat penting karena mempengaruhi sifat fisika kimia perairan. Kenaikan suhu, penurunan pH dan penurunan salinitas perairan dapat menyebabkan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar (Waldichuk, 1974). Faktor yang mempengaruhi tingkat akumulasi logam berat adalah kondisi lingkungan perairan seperti suhu, pH dan salinitas (Rudiyanti, 2007). Semakin tinggi suhu air, daya toksisitas logam semakin meningkat, sebaliknya semakin rendah suhu air maka daya toksisitas logam juga menurun (Darmono, 2001).

Suhu berpengaruh langsung terhadap tumbuhan dan hewan, Hutabarat dan Evans (1984) mengemukakan bahwa suhu merupakan *controlling factor* (faktor pengendali) bagi proses respirasi dan metabolisme biota akuatik yang berlanjut terhadap pertumbuhan dan proses fisiologi serta siklus reproduksinya. Hasil pengamatan Rakhmanda (2011), suhu organisme laut seperti gastropoda dan bivalvia diketahui bahwa suhu pada pengamatan berkisar antara 25 °C – 27°C.

2.7.2 Potential Hydrogen (pH)

Nilai pH menyatakan nilai konsentrasi ion Hidrogen dalam suatu larutan. Dalam air yang bersih jumlah konsentrasi ion H⁺ dan OH⁻ berada dalam keseimbangan sehingga air yang bersih akan bereaksi netral. Organisme akuatik

dapat hidup dalam suatu perairan yang mempunyai nilai pH netral dengan nilai kisaran toleransi antara asam lemah dan basa lemah. pH yang ideal bagi kehidupan organisme akuatik umumnya berkisar antara 7-8,5. Kondisi perairan yang sangat asam maupun sangat basa akan membahayakan kelangsungan hidup organisme karena akan menyebabkan mobilitas berbagai senyawa logam yang bersifat toksik (Barus, 1996).

Nilai pH berpengaruh terhadap toksisitas suatu senyawa kimia. Toksisitas logam berat memperlihatkan peningkatan pada pH rendah dan berkurang dengan meningkatnya pH. Nilai pH berkaitan erat dengan karbondioksida dan alkalinitas. Pada $pH < 5$, alkalinitas dapat mencapai 0. Semakin tinggi nilai pH, semakin tinggi pula nilai alkalinitas dan semakin rendah kadar karbondioksida bebas. Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap pertumbuhan pH dan menyukai nilai pH 7-8,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan. Toksisitas logam dapat memperlihatkan peningkatan pH rendah (Effendi, 2003). pH adalah faktor penting yang menentukan transformasi logam. Penurunan pH secara umum meningkatkan ketersediaan logam berat kecuali Mo dan Se (Panjaitan, 2009). Masuknya logam di dalam perairan akan berinteraksi dengan berbagai faktor seperti derajat keasaman (pH) sehingga akan berpengaruh terhadap kelarutan logam (Sudarwin, 2008).

2.7.3 Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)

Menurut Salmin (2005), oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* = DO) dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil

fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut. Kecepatan difusi oksigen dari udara, tergantung dari beberapa faktor, seperti kekeruhan air, suhu, salinitas, pergerakan massa air dan udara seperti arus, gelombang dan pasang surut. Kementerian Lingkungan Hidup menetapkan bahwa kandungan oksigen terlarut adalah minimal 5 ppm untuk kepentingan wisata bahari dan biota laut.

Menurut Connel dan Miller (2006), penyebab utama berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam air disebabkan karena adanya zat pencemar yang dapat mengkonsumsi oksigen. Zat pencemar tersebut terutama terdiri dari bahan-bahan organik dan non organik yang berasal dari berbagai sumber, seperti kotoran (manusia dan hewan), sampah organik, bahan-bahan buangan industri dan rumah tangga. Sebagian besar zat pencemar yang menyebabkan oksigen terlarut berkurang adalah limbah organik.

Pengaruh oksigen terlarut terhadap logam berat yaitu berbanding terbalik dimana semakin rendah kadar oksigen terlarut, semakin tinggi toksisitas logam berat, begitu juga sebaliknya. Namun pada perairan yang diperuntukkan untuk perikanan sebaiknya kadar oksigen tidak kurang dari 5 mg/liter (Wahyuni *et al.*, 2013). Adanya logam berat dalam tubuh organisme akan mengganggu sintesis Hb, sehingga proses pengikatan oksigen terganggu. Jika sintesis Hb dihambat maka kemampuan untuk mengikat oksigen juga semakin kecil, oksigen dibutuhkan tubuh untuk metabolisme (Yulaipi *et al.*, 2013).

2.7.4 Salinitas

Salinitas didefinisikan sebagai berat dalam gram dari semua zat padat yang terlarut dalam 1 kg air laut jikalau semua brom dan yodium digantikan dengan khlor dalam jumlah yang setara, semua karbonat diubah menjadi oksidanya dan semua zat organik dioksidasikan. Nilai salinitas dinyatakan dalam

g/kg yang umumnya dituliskan dalam ‰ atau ppt yaitu singkatan dari part-per-thousand (Arief, 1984).

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air. Garam yang dimaksud adalah berbagai ion yang terlarut dalam air termasuk di dalamnya adalah garam dapur (NaCl). Pada umumnya salinitas disebabkan oleh 7 ion yaitu; natrium (Na^+), Kalium (K^+), Kalsium (Ca^{++}), magnesium (Mg^{++}), klorida (Cl^-), sulfat (SO_4^{2-}) dan bikarbonat (HCO_3^-). Salinitas dinyatakan dalam satuan gram/kg atau promil (‰). Air dikategorikan sebagai air payau bila konsentrasinya 0,05 sampai 3‰ atau menjadi saline bila konsentrasinya 3 sampai 5‰. Lebih dari 5‰ disebut brine (Apriani dan Wijaya, 2011). Menurut Nybakken (1998), salinitas merupakan konsentrasi dari ion-ion yang terlarut dalam air dan dinyatakan dalam ppt atau promil. Salinitas sangat berhubungan dengan tekanan osmotik air sehingga organisme berada pada kondisi yang seimbang dengan medium tempat hidupnya. Perubahan salinitas dapat menyebabkan masalah terhadap tekanan osmotik pada organisme yang mungkin akan menimbulkan kematian. Perubahan salinitas dapat terjadi karena adanya pasang surut, aliran air dari daratan, penguapan air bersalinitas maupun adanya air hujan.

Kenaikan suhu, penurunan pH dan penurunan salinitas perairan dapat menyebabkan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar (Waldichuk, 1974). Faktor yang mempengaruhi tingkat akumulasi logam berat adalah kondisi lingkungan perairan seperti suhu, pH dan salinitas (Rudiyanti, 2007). Pada kadar garam atau salinitas yang semakin tinggi maka daya toksisitas logam akan semakin menurun dan sebaliknya (Darmono, 2001).

3. MATERI DAN METODE

3.1 Materi Penelitian

Materi penelitian ini adalah kadar logam berat Pb, Cd, Hg pada insang dan lambung Kerang Hijau (*Perna viridis L.*), kadar MT pada insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) yang diambil dari tiga perairan yang berbeda yakni pantai Ngemboh Kab. Gresik, pantai Banyu Urip Kab. Gresik dan Pantai Kenjeran Kota Surabaya. Parameter kualitas air yang digunakan sebagai parameter pendukung antara lain meliputi parameter fisika yakni suhu, dan parameter kimia meliputi *Potential Hydrogen* (pH), oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*), dan salinitas. Dengan mengacu pada Penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Lampiran 11.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan Bahan dalam penelitian ini merupakan sarana pendukung yang digunakan dalam pengambilan sampel. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.3 Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian observasional dengan pendekatan deskriptif. Dalam penelitian ini dilakukan metode deskriptif observasional dengan pengambilan sampel secara acak atau random. Menurut Nasution (1998) dalam Sugiyono (2005), berpendapat bahwa dengan observasi, peneliti dapat melihat hal-hal yang kurang atau tidak diamati orang lain, khususnya orang yang berada dalam lingkungan itu, karena telah dianggap biasa dan karena itu tidak akan terungkap dalam wawancara. Selain itu, Suryabrata (1980) berpendapat bahwa metode deskriptif sendiri adalah metode yang bertujuan untuk membuat

penggambaran sistematis, nyata dan akurat mengenai fakta-fakta dan sifat-sifat populasi atau daerah tertentu.

3.4 Data Penelitian

Data merupakan bahan informasi atau sebagai bahan materi penelitian dan berdasarkan pada cara memperolehnya, data di bagi sebagai berikut :

a. Data Primer

Data primer adalah data yang di dapat langsung dari sumber pertama oleh peneliti tanpa melalui perantara, survey dilakukan bila data sudah ada di sasaran penelitian (Mulyanto 2008). Pengumpulan data primer dapat dilakukan dengan menggunakan dua teknik yaitu teknik pengamatan (observasi) dan teknik komunikasi. Teknik pengamatan (observasi) dilakukan langsung terhadap gejala yang diamati dan dicatat hasil seperlunya, sedangkan teknik komunikasi dilakukan dengan mengadakan kontak langsung dengan responden (wawancara langsung dan/atau wawancara tertulis) (Mubyarto dan Suratno, 1981).

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang cara pengumpulannya dilakukan oleh pihak lain (Mubyarto dan Suratno, 1981). Menurut Mulyanto (2008), bahwa data sekunder merupakan data primer yang telah diolah pihak lain yang kemudian disajikan oleh pihak lain atau pihak pengumpul dalam bentuk media massa, hasil penelitian peneliti lain (jurnal penelitian, laporan skripsi atau PKL), penelitian kepustakaan, pusat bank data, lembaga penelitian, BPS, maupun lembaga pemerintah atau swasta.

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur Penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dari penentuan lokasi yang akan dilakukan penelitian, pengambilan sampel kerang air

dan sedimen untuk mengetahui kadar pencemaran logam berat, kemudian pengukuran sampel kerang hijau yang diambil, Pengujian sampel dan analisis kualitas air.

3.5.1 Penentuan Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel kerang hijau (*Perna viridis L.*), air dan sedimen dilakukan pada tiga titik pengamatan yang berbeda yakni pada pantai Ngemboh, Kab. Gresik, Pantai Banyu urip, kab. Gresik dan Pantai Kenjeran Kota Surabaya. Sampel yang diambil adalah air, sedimen dan kerang hijau (*Perna viridis L.*). Pada setiap titik pengambilan sampel, diambil kerang hijau yang dominan pada lokasi tersebut sebanyak 3 ekor. Penetapan lokasi pengamatan berdasarkan adanya aktivitas manusia, untuk mengetahui kadar MT pada insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) yang diduga tercemar logam berat Pb, Cd dan Hg dan selanjutnya dapat dibandingkan antara ketiga lokasi pengamatan tersebut. Lokasi 1 berada pantai Ngemboh Kab. Gresik pada pantai ini terdapat vegetasi tanaman mangrove, dan juga merupakan tempat sandaran kapal milik nelayan setempat serta terdapat pabrik pembuatan kapal pada lokasi ini. Pada Lokasi 2 Pantai Banyu Urip kab. Gresik merupakan lokasi yang dekat dengan beberapa rumah penduduk dan ada tempat sandaran beberapa kapal milik nelayan setempat. Lokasi 3 yakni pada Pantai Kenjeran Kota Surabaya, pantai yang terdapat pada kota besar merupakan lokasi yang dekat dengan pemukiman penduduk serta banyaknya aktivitas pengolah perikanan hingga proses pemasaran produk jadi pada pasar sentral Kenjeran serta industri lainnya dan terdapat banyak kapal nelayan yang bersandar pada lokasi ini. dari ketiga lokasi tersebut masing-masing ditentukan 1 titik pengambilan sampel dan diulang sebanyak 3 kali dalam satu waktu penelitian. Peta tempat pengambilan sampel kerang hijau (*Perna viridis L.*) dapat dilihat pada Lampiran 2.

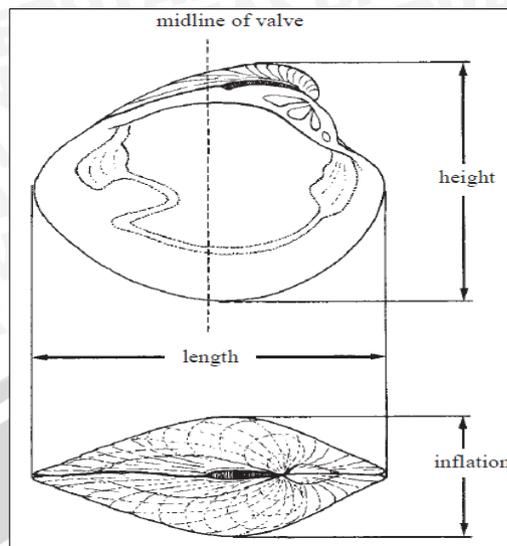
Perbedaan tempat hidup ini diduga mempengaruhi masuknya logam berat ke dalam tubuh kerang hijau (*Perna viridis L.*). setiap titik pengambilan sampel terpilih memiliki aktivitas manusia yang berbeda. Dari perbedaan ini diharapkan akan didapatkan informasi yang lebih beragam mengenai cemaran logam berat Pb, Cd dan Hg dalam tubuh kerang hijau kadar metallothionein pada kerang hijau (*Perna viridis L.*)

3.5.2 Pengambilan Sampel Kerang hijau (*Perna viridis L.*) dan Air

Pengambilan sampel kerang hijau (*Perna viridis L.*) yang menempel pada bambu atau kayu yang sengaja ditancapkan di laut, maka cukup dengan mengambil organisme tersebut secara langsung dengan menggunakan tangan. Sampel air diambil secara langsung dan ditempatkan pada botol air mineral 600ml. Air sampel yang didapat diberi pengawet yaitu HNO₃ pekat sebanyak 1ml. Air sampel dimasukkan ke dalam coolbox untuk kemudian dianalisis di laboratorium. Untuk sampel sedimen diambil pada dasar perairan dan langsung dimasukkan ke dalam plastik *clip* dan diletakkan dalam coolbox untuk kemudian dianalisis di laboratorium.

3.5.3 Pengukuran Sampel Kerang Hijau (*Perna viridis L.*)

Sampel kerang hijau (*Perna viridis L.*) diukur panjang lebar dan tinggi cangkangnya menggunakan jangka sorong untuk mengetahui ukuran kerang hijau (*Perna viridis L.*). pengukuran sampel kerang dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dalam setiap lokasi. FAO (1998) menunjukkan bagian-bagian sisi dari cangkang bivalvia yang bisa dijadikan acuan untuk mengukur panjang, lebar dan tinggi bivalvia, yaitu pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Pengukuran cangkang bivalvia

3.6 Tahap Pengujian sampel

Tahapan pengujian sampel kerang hijau (*Perna viridis L.*) dimulai dari pengujian kadar logam berat pada insang dan lambung kerang serta pengujian kadar logam berat pada air dan substrat pada lingkungan tempat hidup kerang hijau (*Perna viridis L.*). Kemudian dilakukan tahap pengukuran kandungan metallothionein pada lambung dan insang kerang hijau (*Perna viridis L.*) dengan metode ELISA (*Enzym Linked-Immunosorbent Assay*)

3.6.1 Pengujian Kadar logam Berat

Menurut Widiati (2010), pengukuran logam berat Pb, Hg dan Cd menggunakan metode *Atomic Absorbtion Spectrophotometer* (AAS) yaitu:

- Menimbang masing-masing sampel padat $\pm 0,5$ gram dengan timbangan sartorius untuk mendapatkan berat basah.
- Mengoven sampel padat pada suhu ± 105 °C selama 1 jam sampai mendapat berat konstan.

- Menimbang berat konstan dengan timbangan sartorius sebagai berat kering.
- Memasukkan sampel yang sudah kering ke dalam *beaker glass* 100 ml.
- Menambahkan HNO₃ dengan perbandingan 1:1 (HNO₃:HCl) sebanyak ± 10-15 ml.
- Memanaskan diatas *hot plate* di dalam kamar asam sampai ± 3 ml.
- Menyaring dengan kertas saring ke dalam labu ukur 50 ml.
- Mengulang proses penyaringan sampai tanda batas labu ukur dengan terlebih dahulu menambahkan 15 ml aquades ke dalam *beaker glass* tempat sampel.
- Menganalisis sampel dengan menggunakan mesin *Atomic Absorbtion Spectrophotometer* (AAS) pada panjang gelombang 283,3 nm.
- Menyiapkan larutan standar.
- Menganalisis larutan standar dengan mesin AAS dan mencatat nilai absorbannya kemudian membuat kurva kalibrasinya. Larutan standar ini berfungsi untuk membantu nilai konsentrasi logam Pb, Hg dan Cd pada sampel karena prinsip kerja mesin AAS hanya menentukan nilai absorbansi dengan sampel.

Pengukuran sampel (dalam bentuk cairan) dilakukan dengan menggunakan lampu katoda. Langkah yang digunakan di laboratorium adalah sebagai berikut.

- 1) Mengambil air sampel dengan pipet volume 25 ml, kemudian dimasukkan ke dalam beaker glass 50 ml
- 2) Menambahkan larutan asam nitrat pekat 1 ml, kemudian dikocok sampai homogen

- 3) Memanaskan sampel di atas kompor listrik, hingga volume berkurang menjadi 15 ml
- 4) Didinginkan dan disaring ke labu 25 ml dan menambahkan aquades sampai tanda batas, kemudian dikocok sampai homogen.

Sampel dibaca kandungan logam beratnya menggunakan alat AAS dengan lampu katoda Pb dan dicatat absorbansinya.

3.6.2 Pengujian Kadar Metallothionein pada Insang dan Lambung Kerang Hijau (*Perna viridis L.*)

Menurut Linde and Garcia (2006), tahapan yang dilakukan untuk menentukan kadar MT secara kuantitatif adalah sebagai berikut :

1. Tahap Pengambilan Sampel (Linde and Garcia, 2006)
 - Sampel organ lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) diambil sebanyak 0,5 gram dan dicuci dengan PBS sebanyak tiga kali
 - Memasukkan sampel ke dalam plastic klip dengan diberi es batu (maksimum 4 jam untuk proses homogenasi)
 - Bila sampel akan dihomogenasikan lebih dari 4 jam maka sampel harus segera dibekukan pada suhu -20°C .
2. Tahap Homogenasi (Linde and Garcia, 2006)
 - Menggerus jaringan dalam mortal yang sudah didinginkan dan menambahkan 3 ml buffer homogenisasi (0,5 M sukrosa, 20 mM Tri-HCL buffer, pH 8,6, mengandung 0,01 % β -mercaptoethanol) dalam plastic atau tabung kaca.
 - Menghomogenasi jaringan dengan menggunakan homogenizer jaringan.
 - Menambahkan kedalam homogenate dengan Aliquot (larutan induk) (3 ml).

- Sebagai kontrol, jumlah yang diketahui dari standar metallothionein untuk mengkalibrasi hasil sampel yang diperoleh. Aliquot dapat disimpan pada -20 °C.
 - Percobaan dapat berhenti di langkah ini.
3. Tahap Ekstraksi (Linde and Garcia, 2006)
- Mensentrifugasi homogenate di 30.000 x g 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 x g selama 10 menit.
 - Menambahkan 3 ml etanol dingin pada supernatant yang dihasilkan dan menyimpan pada suhu -20 °C selama 1 jam
 - Langkah analisis bisa berhenti saat ini.
4. Tahap Pemurnian dan Kuantifikasi Metallothionein (Linde and Garcia, 2006)
- Mensentrifugasi supernatant pada 6000 x g selama 10 menit
 - Mencuci pellet yang dihasilkan dengan etanol : kloroform : homogenisasi penyangga (87 : 1 : 12)
 - Mensentrifugasi lagi pada 6000 x g selama 10 menit
 - Mengeringkan di bawah aliran gas nitrogen untuk menyelesaikan penguapan
 - Resuspended pellet 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

5. Tahap Estimasi dengan metode ELISA

- Pembuatan denah plate ELISA dan coating buffer. Denah dibuat berdasarkan kode sampel. Coating buffer dibuat fresh.
- Coating antigen dengan kadar antigen yang digunakan adalah (1 : 40) diencerkan dengan coating buffer dan diinkubasi dengan suhu 4 °C semalam
- Keesokan harinya plate dicuci menggunakan larutan PBS Tween 0,2 % sebanyak 100 µl dan diulang 6 kali
- Tambahkan 100 µl antibody primer anti Metallothionein (1 : 400) dalam assay buffer
- Plate Elisa diinkubasi pada suhu ruang selama 2 jam sambil dishaker dengan shaker Elisa plate.
- Pencucian dengan PBS Tween 0,2% sebanyak 200 µl dan diulang 6 kali
- Tambahkan 100 µl antibody sekunder IgG biotin anti rabbit (1 : 800) dalam assay buffer lalu inkubasi pada suhu ruang selama 1 jam sambil dishaker
- Dicuci dengan PBS Tween 0,2% dan diulang 6 kali
- Tambahkan 100 µl larutan SAHRP (1 : 800) dalam assay buffer lalu inkubasi pada suhu ruang selama 1 jam sambil dishaker
- Dicuci dengan PBS Tween 0,2% sebanyak 200 µl dan diulang 6 kali
- Tambahkan 100 µl masing-masing weel substrat sure blue TMB microwell lalu inkubasi 20–30 menit pada ruang gelap. Jika terjadi reaksi antara antigen dengan antibody maka akan berubah menjadi biru

- Tambahkan 100 μl HCL 1 N sebagai stop reaksi. Pada tahap ini larutan warna biru berubah menjadi kuning
- Dibaca dengan ELISA reader dengan panjang gelombang 450 nm. Hasil absorbansi dikonversi dengan kurva standart dan diketahui nilai MT.

3.6.3 Metode Analisa Kualitas Air

Pada penelitian ini, analisa kualitas air dilakukan dengan mengukur parameter Fisika dan parameter Kimia pendukung. Parameter Fisika yang diukur pada penelitian ini adalah suhu, sedangkan untuk parameter kimia yang diukur pada penelitian ini adalah pH (*Power of hydrogen*), salinitas dan oksigen terlarut (*Dissolved oxygen*).

a. Parameter Fisika

❖ Suhu

Prosedur pengukuran suhu menggunakan Termometer Hg menurut Hariyadi *et al.* (1992) adalah sebagai berikut:

- Mencelupkan thermometer air raksa ke dalam perairan.
- Membiarkan selama 3 menit.
- Membaca skala pada thermometer ketika masih di dalam air.
- Mencatat hasil pengukuran dalam skala $^{\circ}\text{C}$.

b. Parameter Kimia

❖ pH (*Potential of Hydrogen*)

Prosedur pengukuran oksigen menggunakan pH meter menurut Kamco (2015) adalah sebagai berikut.

- Melepaskan tutup bening pH meter
- Menekan tombol ON/OFF pada pH meter

- Bagian sensor pH meter dimasukkan ke dalam air kurang lebih 2 cm air yang diukur kadar pH nya
- Ditunggu sampai nilai yang ditunjukkan stabil. Dicatat pH yang terbaca. Tekan HOLD/ENT jika ingin menahan pH yang terbaca
- Menekan tombol ON/OFF untuk mematikan pH meter
- Membilas sensor dengan aquades setelah pemakaian.

❖ **Salinitas**

Menurut Hariyadi *et al.* (1992), prosedur analisis salinitas pada perairan adalah sebagai berikut:

- Membrane refraktometer (merk Atago) dibersihkan dan dikalibrasi menggunakan aquades dan dikeringkan dengan tissue secara searah
- Air laut diambil menggunakan pipet tetes dan diteteskan 1-2 tetes pada membran refraktometer lalu ditutup dengan penutup membran.
- Refraktometer diarahkan menuju sumber cahaya dan diamati nilai salinitas langsung dibaca pada lensa refraktometer, yaitu skala pada batas antara bagian yang berwarna kebiruan di sebelah kanan tiang skala yang bersatuan ppt (skala sebelah kiri menunjukkan nilai berat jenis air).

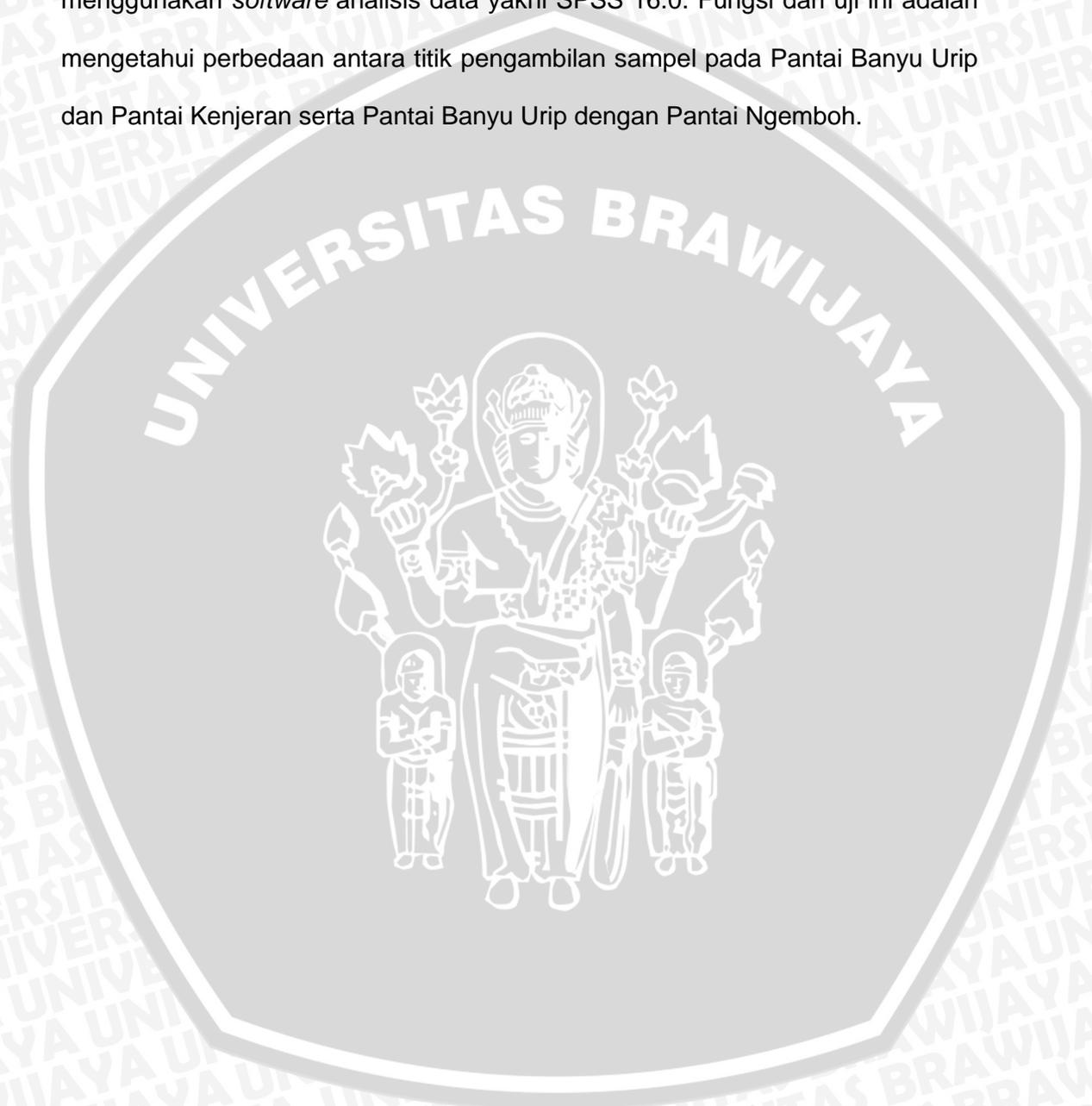
❖ **Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)**

Prosedur pengukuran oksigen menggunakan DO meter menurut Ly dan Lai (1997) adalah sebagai berikut.

- 1) Mengaktifkan alat DO meter dengan menekan tombol ON
- 2) Melakukan standarisasi terlebih dahulu pada bagian ujung probe dengan menggunakan aquades.
- 3) Ujung DO meter dimasukkan ke dalam perairan kolam
Ditunggu sampai nilai DO yang ditunjukkan tidak berubah-ubah, dan dicatat nilai DO tersebut.

3.7 Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan *One Way ANOVA* dengan menggunakan uji lanjutan yakni Uji Tukey. Pengolahan data dengan menggunakan *software* analisis data yakni SPSS 16.0. Fungsi dari uji ini adalah mengetahui perbedaan antara titik pengambilan sampel pada Pantai Banyu Urip dan Pantai Kenjeran serta Pantai Banyu Urip dengan Pantai Ngemboh.



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian

Sampel kerang hijau (*Perna viridis* L.) yang digunakan pada penelitian ini diambil dari tiga pantai antaralain Pantai Ngemboh, Banyu urip dan Kenjeran. Ketiga pantai ini memiliki karakterisasi yang berbeda-beda. Berikut akan dijelaskan masing-masing pantai yang digunakan pada penelitian ini.

4.1.1 Deskripsi Pantai Ngemboh

Pantai Ngemboh merupakan salah satu jajaran pantai utara yang terletak di Kecamatan Ujung Pangkah Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Secara geografis titik pengambilan sampel kerang hijau yang berada pada pantai ngemboh terletak pada kordinat titik 06°53' 14,17"- 6°53' 47,18" Lintang Selatan dan 112° 29' 25,54"-112°30' 11,04' Bujur Timur (*Google Earth*, 2016). Pantai Ngemboh adalah kawasan penting bagi nelayan sekitar karena telah lama dijadikan sebagai area penangkapan perikanan, tetapi dengan pesatnya pembangunan, limbah industri serta limbah rumah tangga di daerah tersebut menyebabkan adanya pencemaran lingkungan.

Memiliki potensi kerang hijau yang sangat berlimpah di Kabupaten Gresik. Hasil produksi kerang hijau tangkap pada desa Ngemboh pada tahun 2011 adalah sebesar 3.052,89 ton, tahun 2012 hasil tangkapan pada desa Ngemboh sebesar 1.223,46 ton (Dinas Perikanan dan Kelautan Gresik, 2013). Dari penjelasan dapat kita simpulkan bahwa dari tahun 2011 ke 2012 hasil tangkapan kerang hijau menurun hal ini diduga disebabkan oleh adanya peningkatan pencemaran dari kegiatan masyarakat yang ada. Lingkungan perairan sangat rentan terhadap pencemaran tersebut karena sebagian besar

hasil dari kegiatan tersebut dibuang ke perairan sehingga memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap kualitas perairan dan biota yang hidup didalamnya.

4.1.2 Deskripsi Pantai Banyu Urip

Secara geografis titik pengambilan sampel kerang hijau yang berada pada Pantai Banyu urip terletak pada kordinat titik $6^{\circ}53'48.74''$ - $6^{\circ}54'13.63''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}30'37.48''$ - $112^{\circ}31'12.83''$ Bujur Timur (*Google Earth*, 2016). Sedangkan secara administratif Desa Banyu Urip terletak di wilayah Kecamatan Ujungpangkah Kabupaten Gresik yang terdiri dari lima dusun yakni dusun Bangsal Sari, dusun Mulyosari, dusun Klakak, dusun Banyulegi dan dusun Bondot yang secara keseluruhan jumlah penduduknya 6.639 orang, sebagian dari mereka memiliki mata pencaharian sebagai nelayan. Setiap hari mereka menggantungkan hidup dari hasil laut seperti ikan dan kerang untuk mencukupi semua kebutuhan hidup keluarga.

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk yang diikuti oleh peningkatan kegiatan masyarakat. Kegiatan masyarakat tersebut meliputi kegiatan rumah tangga, industri, transportasi dan pertanian mengakibatkan peningkatan pencemaran pada pantai tersebut. Lingkungan perairan sangat rentan terhadap pencemaran tersebut karena sebagian besar hasil dari kegiatan tersebut dibuang ke perairan sehingga memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap kualitas perairan dan biota yang hidup didalamnya.

4.1.3 Deskripsi Pantai Kenjeran

Pantai Kenjeran Surabaya terletak di sebelah timur kota Surabaya. Kenjeran merupakan salah satu kelurahan di Kecamatan Bulak, Surabaya. Terletak diantara kawasan kampung nelayan di kawasan Tambak Deres.

Sebagai tempat rekreasi pantai Kenjeran tersebut sangat mudah terkena pencemaran akibat aktivitas manusia yang ada, sehingga dapat mengancam kelestarian ekosistem dan biota yang ada disekitar pantai. Secara geografis pantai Kenjeran terletak pada $7^{\circ} 15' 19,60''$ – $7^{\circ} 17' 13,25''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ} 48' 35,69''$ – $112^{\circ} 48' 40,72''$ Bujur Timur (*Google Earth*, 2016).

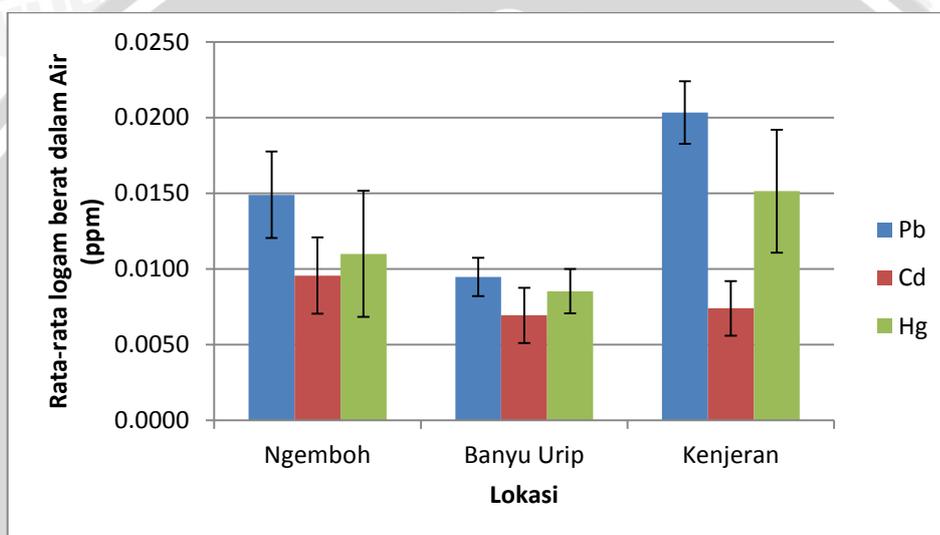
Wilayah Pantai Timur Surabaya merupakan bentang alam yang relative datar dengan kemiringan $0-3^{\circ}$, dengan rata-rata ketinggian pasang surut sebesar 1.67 meter. Kawasan ini terbentuk dari hasil pengendapan dari sistem sungai yang ada disekitarnya dan dipengaruhi oleh laut. Pantai Timur Surabaya bermuara tujuh buah sungai besar beberapa diantaranya adalah kali Wonokromo dan kali Wonorejo. Sungai-sungai tersebut membawa limbah padat dan cair yang berasal dari industry maupun rumah tangga yang pada akhirnya akan menumpuk dan mencemari perairan Pantai Timur Surabaya. Pantai ini berhubungan bebas dengan laut terbuka dimana di dalamnya terjadi pencampuran antara air laut dan air tawar dari sungai.

4.2 Analisa Kadar Logam Berat

Kadar logam berat Pb, Cd, Hg di perairan Pantai Ngemboh, Pantai Banyu Urip dan Pantai Kenjeran diukur pada sampel air, sedimen organ insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) yang diambil dari ketiga lokasi yang berbeda tersebut. Ketiga lokasi penelitian masing-masing memiliki karakteristik maupun sumber bahan pencemar yang berbeda-beda. Analisa kandungan logam berat Pb, Cd dan Hg pada air, sedimen dan organ insang serta lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

4.2.1 Kadar Logam Berat di Air

Analisa kandungan logam berat pada air di ketiga perairan yang berbeda yakni Pantai Ngemboh, Banyu Urip dan Kenjeran ini memiliki hasil yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan karakteristik maupun sumber bahan pencemar dari tiap lokasi pengamatan. Grafik hasil analisa kandungan logam berat Pb, Cd dan Hg pada ketiga lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4 serta tabel hasil analisa dapat dilihat pada Lampiran 3.



Gambar 4 .Rata-rata kadar logam berat Pb, Cd dan Hg dalam air pada Pantai Ngemboh, Pantai Banyu Urip dan Kenjeran.

Berdasarkan grafik tersebut, hasil rata-rata logam berat Pb, Cd dan Hg berturut-turut pada perairan Pantai ngemboh adalah sebesar 0.0149 ppm untuk logam berat Pb, 0.0096 ppm untuk logam berat Cd dan 0.0110 ppm untuk logam berat Hg. Pada perairan pantai banyu urip nilai logam berat Pb, Cd dan Hg berturut-turut adalah sebesar 0.0095 ppm untuk logam berat Pb, 0.0069 ppm untuk logam berat Cd dan 0.0085 ppm untuk logam berat Hg. Pada Perairan Kenjeran berturut-turut nilai logam berat adalah sebesar 0.0203 ppm untuk logam berat Pb, 0.0074 ppm untuk logam berat Cd dan 0.0151 ppm untuk logam berat Hg.

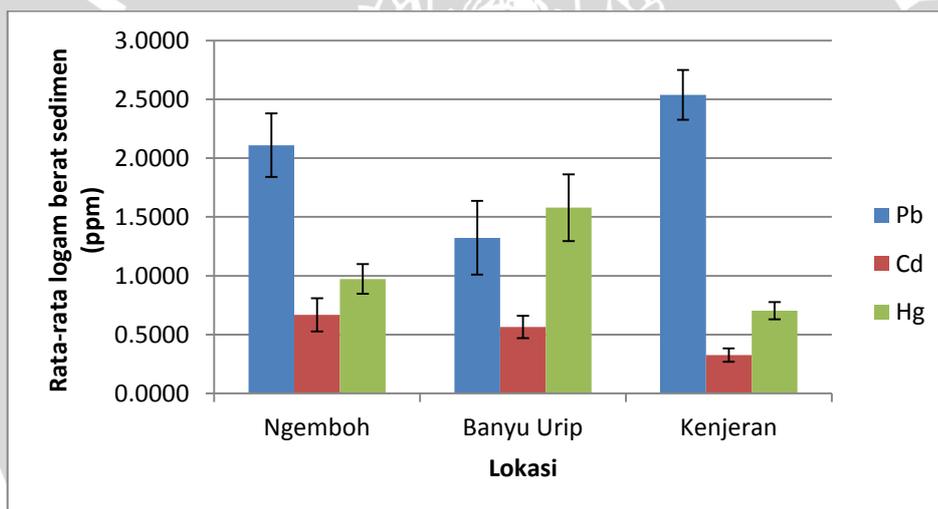
Dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa kadar logam berat Pb dalam air tertinggi adalah pada pantai Kenjeran yakni sebesar 0.0203 ppm disusul dengan pantai Ngemboh sebesar 0.0149 ppm dan yang terakhir Pantai Banyu Urip sebesar 0.0095 ppm. Kemudian untuk logam berat Cd di dalam air yang tertinggi yakni pada Pantai Ngemboh dengan kandungan logam berat Cd sebesar 0.0096 ppm, disusul dengan Pantai Kenjeran dengan kandungan logam berat sebesar 0.0074 ppm dan yang terakhir pada Pantai Banyu urip sebesar 0.0069 ppm. Kemudian untuk kandungan logam berat yang terakhir yakni Hg nilai tertinggi didapatkan pada perairan pantai Kenjeran sebesar 0.0151 ppm, disusul dengan pantai Ngemboh sebesar 0.0110 ppm dan yang terakhir pantai Banyu Urip dengan nilai logam berat Hg sebesar 0.0069 ppm. Dan pencemaran logam berat tertinggi adalah oleh logam berat Pb pada pantai Kenjeran sebesar 0.0203 ppm.

Menurut Khalil (2013), kandungan logam berat dalam suatu perairan dapat meningkat seiring dengan meningkatnya masukan limbah yang mengandung logam berat terutama limbah industri yang merupakan sumber potensial bahan pencemar di dalam perairan sungai, estuaria dan laut. Kemudian terakumulasi dalam tubuh biota air yang hidup di perairan tersebut. Kandungan bahan berbahaya dari polutan terutama dari jenis logam berat merkuri akan diubah menjadi metil merkuri ($\text{CH}_3\text{-Hg}$) oleh aktivitas organisme melalui proses metilasi sehingga memiliki sifat racun dan daya ikat tinggi pada sistem cairan tubuh organisme serta memiliki tingkat kelarutan yang tinggi dalam perairan. Senyawa ini dapat merusak jaringan tubuh organisme terutama yang berhubungan langsung dengan sistem sirkulasi dan sistem ekskresi tubuh organisme seperti hati, ginjal, insang dan saluran pencernaan. Menurut Darmono (1995), mengatakan kandungan logam dalam air dapat berubah bergantung pada lingkungan dan iklim. Pada musim hujan, kandungan logam akan lebih kecil

karena proses pelarutan sedangkan pada musim kemarau kandungan logam akan lebih tinggi karena logam menjadi terkonsentrasi. Selain itu, Pb dapat digunakan sebagai zat tambahan bahan bakar dan pigmen timbal dalam cat yang merupakan penyebab utama peningkatan kadar Pb di lingkungan.

4.2.2 Kadar Logam Berat pada Sedimen

Hasil analisa kandungan logam berat Pb, Cd dan Hg pada sedimen di ketiga lokasi penelitian menunjukkan hasil rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan logam berat dalam air. Grafik hasil pengukuran kadar logam berat Pb, Cd dan Hg pada sedimen dapat dilihat pada Gambar 5 dan tabel hasil analisa dapat dilihat pada Lampiran 4.



Gambar 5. Rata-rata logam berat Pb, Cd dan Hg dalam sedimen pada Pantai Ngemboh, Pantai Banyu Urip dan Pantai Kenjeran

Hasil rata-rata logam berat Pb, Cd dan Hg pada sedimen di tiga perairan menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Berdasarkan grafik tersebut pada pantai Ngemboh nilai logam berat Pb, Cd dan Hg berturut-turut adalah sebesar 2.1094 ppm untuk logam berat Pb, 0.6683 ppm untuk logam berat Cd dan 0.9730 ppm untuk logam berat Hg. Kemudian pada Pantai Banyu urip didapatkan nilai Pb sebesar 1.3225 ppm, nilai Cd sebesar 0.5656 ppm dan yang terakhir nilai Hg

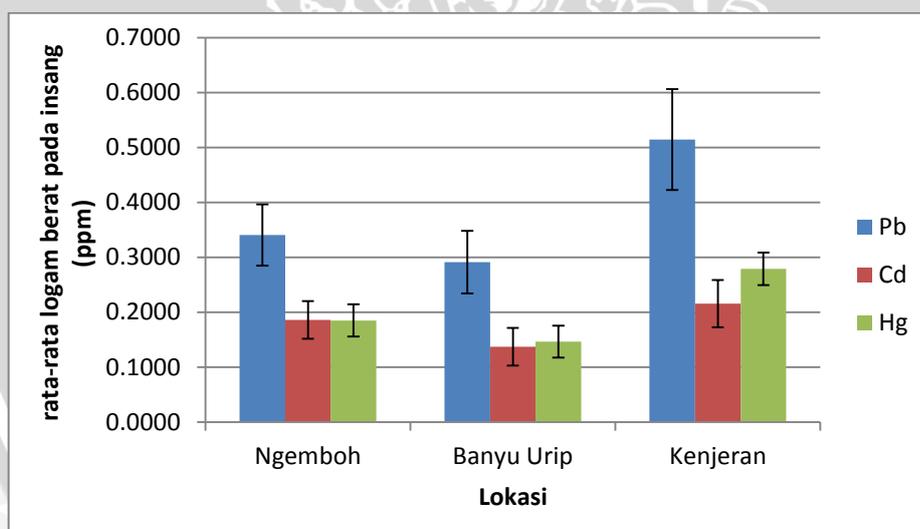
sebesar 1.5791 ppm. Selanjutnya adalah pada Pantai Kenjeran didapatkan nilai Pb sebesar 2.5374 ppm, nilai logam berat Cd sebesar 0.3266 ppm dan nilai logam berat Hg sebesar 0.7037 ppm.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai logam berat Pb pada sedimen tertinggi adalah pada Pantai Kenjeran yakni sebesar 2.5374 ppm disusul dengan pantai Ngemboh sebesar 2.1094 ppm dan yang terakhir pada pantai Banyu Urip yakni sebesar 1.3225 ppm. Selanjutnya untuk logam berat Cd pada sedimen tertinggi berada pada perairan Pantai Ngemboh dengan nilai logam berat Cd sebesar 0.6683 ppm disusul oleh pantai Banyu Urip sebesar 0.5656 ppm dan yang terakhir yakni pada pantai Kenjeran dengan nilai logam berat Cd sebesar 0.3266 ppm. kemudian yang terakhir adalah logam berat Hg pada sedimen tertinggi terletak pada pantai Banyu Urip yakni sebesar 1.5791 ppm berlanjut ke pantai Ngemboh dengan nilai logam berat Hg sebesar 0.9730 ppm dan yang terakhir pantai Kenjeran dengan nilai logam berat Hg sebesar 0.7037 ppm. Dan pencemaran logam berat tertinggi adalah oleh logam berat Pb pada Pantai Kenjeran sebesar 2,5374 ppm.

Harahap (1991), menyatakan bahwa logam berat memiliki sifat yang mudah mengikat bahan organik dan bersifat mengendap pada dasar perairan serta bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan jika berada dalam air. Hal ini sama dengan pendapat Rochyatun *et al.*,(2006) yang mengungkapkan bahwa logam berat yang semula terlarut didalam air sungai diadsorpsi 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.

4.2.3 Kadar logam Berat pada Insang Kerang Hijau (*Perna viridis L.*)

Secara biologis logam berat yang terkumpul dalam tubuh organisme, menetap untuk jangka waktu lama dan bersifat toksis kumulatif (Darmono, 1995). Keberadaan logam berat yang terikat dalam tubuh organisme seperti pada ikan, krustase dan biota laut lainnya akan mempengaruhi aktivitas organisme tersebut. Suaniti (2007) berpendapat bahwa logam berat diserap oleh tubuh hewan perairan kebanyakan dalam bentuk ion. Penyerapan tersebut dalam bentuk ion melalui insang dan saluran pencernaan. Ion logam yang masuk ke dalam jaringan makhluk hidup bersenyawa dengan bahan kimia jaringan makhluk hidup membentuk senyawa kompleks organik protein disebut metallothionein. Hasil analisa kandungan logam berat Pb, Cd dan Hg pada insang kerang hijau (*Perna viridis L.*) dapat dilihat pada Gambar 6 dan Lampiran 5.



Gambar 6. Hasil rata-rata logam berat Pb, Cd dan Hg pada insang kerang hijau (*Perna viridis L.*) di Pantai Ngembah, Banyu Urip dan Kenjeran.

Berdasarkan grafik tersebut, hasil rata-rata logam berat Pb, Cd dan Hg berturut-turut pada organ insang Pantai ngembah adalah sebesar 0.3407 ppm untuk logam berat Pb, 0.1860 ppm untuk logam berat Cd dan 0.1852 ppm untuk logam berat Hg. Pada pantai banyu urip nilai logam berat Pb, Cd dan Hg berturut-turut pada organ insang adalah sebesar 0.2911 ppm untuk logam berat

Pb, 0.1373 ppm untuk logam berat Cd dan 0.1463 ppm untuk logam berat Hg. Pada Perairan Kenjeran berturut-turut nilai logam berat Pb, Cd dan Hg pada insang adalah sebesar 0.5143 ppm untuk logam berat Pb, 0.2157 ppm untuk logam berat Cd dan 0.2792 ppm untuk logam berat Hg.

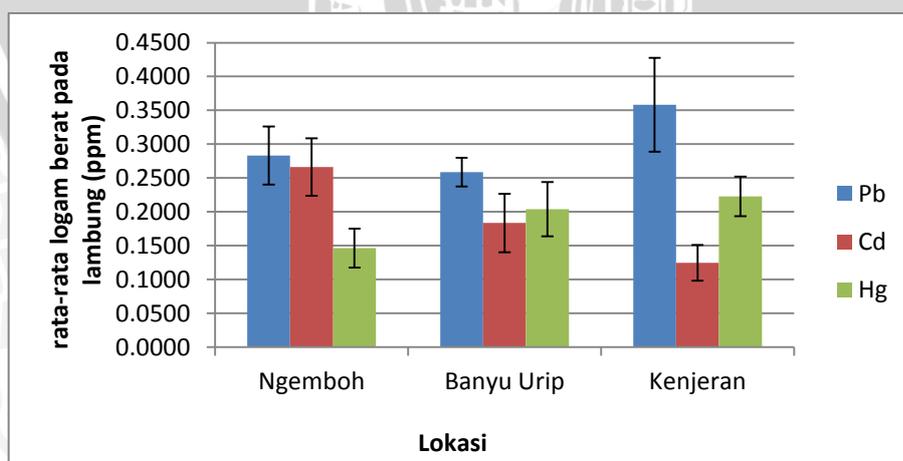
Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai logam berat Pb pada organ insang kerang hijau (*Perna viridis L.*) tertinggi adalah pada Pantai Kenjeran yakni sebesar 0.5143 ppm disusul dengan pantai Ngemboh sebesar 0.3407 ppm dan yang terakhir pada pantai Banyu Urip yakni sebesar 0.2911 ppm. Selanjutnya untuk logam berat Cd pada organ insang kerang hijau (*Perna viridis L.*) tertinggi berada pada perairan Pantai Kenjeran dengan nilai logam berat Cd sebesar 0.2792 ppm disusul oleh pantai Ngemboh sebesar 0.1860 ppm dan yang terakhir yakni pada pantai Banyu Urip dengan nilai logam berat Cd sebesar 0.1373 ppm. Kemudian yang terakhir adalah logam berat Hg pada organ insang kerang hijau (*Perna viridis L.*) tertinggi terletak pada pantai Kenjeran yakni sebesar 0.2792 ppm berlanjut ke pantai Ngemboh dengan nilai logam berat Hg sebesar 0.1852 ppm dan yang terakhir pantai Banyu Urip dengan nilai logam berat Hg sebesar 0.1463 ppm. Dan kadar logam berat tertinggi pada insang kerang hijau (*Perna viridis L.*) adalah oleh logam berat Pb pada Pantai Kenjeran sebesar 0.5143 ppm.

Menurut Khalil (2013), Logam berat akan terakumulasi dalam tubuh biota air yang hidup di perairan yang tercemar oleh logam berat tersebut. Kandungan bahan berbahaya dari polutan terutama dari jenis logam berat merkuri akan diubah menjadi metil merkuri ($\text{CH}_3\text{-Hg}$) oleh aktivitas organisme melalui proses metilasi sehingga memiliki sifat racun dan daya ikat tinggi pada sistem cairan tubuh organisme serta memiliki tingkat kelarutan yang tinggi dalam perairan. Senyawa ini dapat merusak jaringan tubuh organisme terutama yang berhubungan langsung dengan sistem sirkulasi dan sistem ekskresi tubuh

organisme seperti hati, ginjal, insang dan saluran pencernaan. Darmono (1995), menyatakan bahwa secara biologis logam berat yang terakumulasi dalam tubuh organisme menetap untuk jangka waktu lama dan bersifat toksik kumulatif. Keberadaan logam berat yang terikat dalam tubuh organisme seperti pada ikan, krustasea dan biota laut lainnya akan mempengaruhi aktivitas organisme tersebut.

4.2.4 Kadar Logam Berat pada Lambung Kerang Hijau (*Perna viridis L.*)

Secara biologis logam berat yang terkumpul dalam tubuh organisme, menetap untuk jangka waktu lama dan bersifat toksik kumulatif (Darmono, 1995). Keberadaan logam berat yang terikat dalam tubuh organisme seperti pada ikan, krustasea dan biota laut lainnya akan mempengaruhi aktivitas organisme tersebut. Suaniti (2007) berpendapat bahwa logam berat diserap oleh tubuh hewan perairan kebanyakan dalam bentuk ion. Penyerapan tersebut dalam bentuk ion melalui insang dan saluran pencernaan. Ion logam yang masuk ke dalam jaringan makhluk hidup bersenyawa dengan bahan kimia jaringan makhluk hidup membentuk senyawa kompleks organik protein disebut metallothionein. Hasil analisa kandungan logam berat Pb, Cd dan Hg pada lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) dapat dilihat pada Gambar 7 dan Lampiran 6.



Gambar 7. Hasil rata-rata logam berat Pb, Cd dan Hg pada lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) di Pantai Ngembah, Banyu Urip dan Kenjeran.

Berdasarkan grafik tersebut, hasil rata-rata logam berat Pb, Cd dan Hg berturut-turut pada organ lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) Pantai ngemboh adalah sebesar 0.2834 ppm untuk logam berat Pb, 0.2662 ppm untuk logam berat Cd dan 0.1463 ppm untuk logam berat Hg. Pada pantai banyu urip nilai logam berat Pb, Cd dan Hg berturut-turut pada organ lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) adalah sebesar 0.2586 ppm untuk logam berat Pb, 0.1836 ppm untuk logam berat Cd dan 0.2039 ppm untuk logam berat Hg. Pada Pantai Kenjeran berturut-turut nilai logam berat Pb, Cd dan Hg pada lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) adalah sebesar 0.3582 ppm untuk logam berat Pb, 0.1246 ppm untuk logam berat Cd dan 0.2228 ppm untuk logam berat Hg.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai logam berat Pb pada organ lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) tertinggi adalah pada Pantai Kenjeran yakni sebesar 0.3582 ppm disusul dengan pantai Ngemboh sebesar 0.2834 ppm dan yang terakhir pada pantai Banyu Urip yakni sebesar 0.2586 ppm. Selanjutnya untuk logam berat Cd pada organ lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) tertinggi berada pada Pantai Ngemboh dengan nilai logam berat Cd sebesar 0.2662 ppm disusul oleh pantai Banyu Urip sebesar 0.1836 ppm dan yang terakhir yakni pada pantai Kenjeran dengan nilai logam berat Cd sebesar 0.1246 ppm. Kemudian yang terakhir adalah logam berat Hg pada organ lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) tertinggi terletak pada pantai Kenjeran yakni sebesar 0.2228 ppm berlanjut ke pantai Banyu Urip dengan nilai logam berat Hg sebesar 0.2039 ppm dan yang terakhir pantai Ngemboh dengan nilai logam berat Hg sebesar 0.1463 ppm. Dan akumulasi logam berat tertinggi pada lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) adalah oleh logam berat Pb pada Pantai Kenjeran sebesar 0.3582 ppm.

Menurut Khalil (2013), Logam berat akan terakumulasi dalam tubuh biota air yang hidup di perairan yang tercemar oleh logam berat tersebut. Kandungan

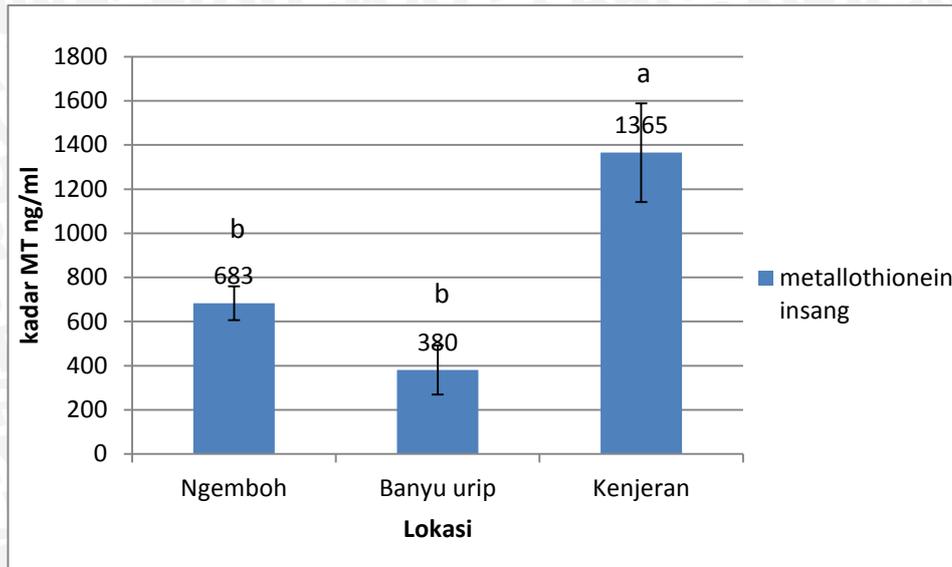
bahan berbahaya dari polutan terutama dari jenis logam berat merkuri akan diubah menjadi metil merkuri ($\text{CH}_3\text{-Hg}$) oleh aktivitas organisme melalui proses metilasi sehingga memiliki sifat racun dan daya ikat tinggi pada sistem cairan tubuh organisme serta memiliki tingkat kelarutan yang tinggi dalam perairan. Senyawa ini dapat merusak jaringan tubuh organisme terutama yang berhubungan langsung dengan sistem sirkulasi dan sistem ekskresi tubuh organisme seperti hati, ginjal, insang dan saluran pencernaan. Darmono (1995), menyatakan bahwa secara biologis logam berat yang terakumulasi dalam tubuh organisme menetap untuk jangka waktu lama dan bersifat toksik kumulatif. Keberadaan logam berat yang terikat dalam tubuh organisme seperti pada ikan, krustasea dan biota laut lainnya akan mempengaruhi aktivitas organisme tersebut.

4.3 Kadar Metallothionein (MT)

Kadar MT pada kerang hijau (*Perna viridis L.*) di perairan Pantai Ngembah, Pantai Banyu Urip dan Pantai Kenjeran diukur pada organ insang dan lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) yang diambil dari ketiga lokasi yang berbeda tersebut. Ketiga lokasi penelitian masing-masing memiliki karakteristik maupun kadar logam berat yang berbeda-beda. Analisa kandungan MT pada organ insang serta lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) dilakukan di Laboratorium Fisiologi / Ilmu Faal Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya dengan menggunakan metode *Enzym-Linked Immunosorbent Assay* (ELISA).

4.3.1 Kadar Metallothionein pada Insang Kerang Hijau (*Perna viridis L.*)

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan rata-rata kadar MT pada insang Kerang hijau (*Perna viridis L.*) dapat dilihat pada Gambar 8 dan secara rinci data hasil analisis kadar MT pada insang kerang hijau (*Perna viridis L.*) disajikan pada Lampiran 7.



Gambar 8. Grafik hasil rata-rata kadar MT pada insang kerang hijau (*Perna viridis*)

Berdasarkan hasil uji tukey dengan selang kepercayaan 95% kadar MT insang pada pantai kenjeran berbeda nyata dengan pantai Banyu Urip dengan tingkat signifikansi sebesar 0.01 ($P < 0.05$). Sedangkan kadar MT insang pada Pantai Ngembah tidak berbeda nyata dengan Pantai Banyu Urip dengan signifikansi sebesar 0.107 ($P > 0.05$). Untuk lebih lengkap mengenai hasil uji Tukey dapat dilihat pada Lampiran 8. Pada Pantai Banyu Urip memiliki nilai MT pada organ insang terendah jika dibandingkan dengan pantai Kenjeran dan Pantai Ngembah.

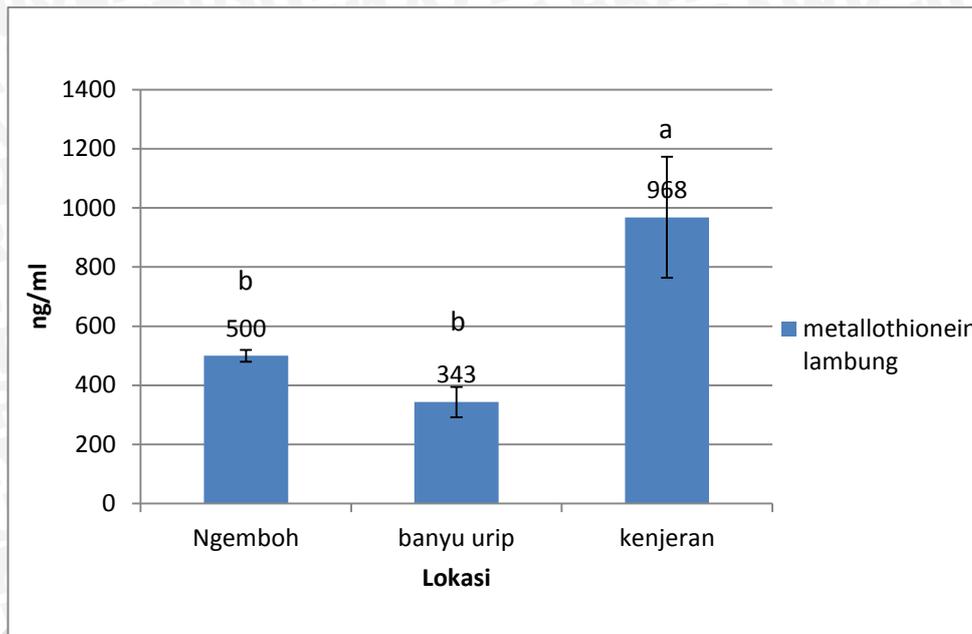
Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kadar MT pada Insang kerang hijau (*Perna viridis* L.) di Pantai Ngembah adalah sebesar 683 ng/ml, pada Pantai Banyu Urip sebesar 380 ng/ml dan yang terakhir yakni pada pantai Kenjeran sebesar 1365 ng/ml. Menurut Khati, *et al.* (2012), dengan paparan Cd sebesar 200 $\mu\text{g/l}$ didapatkan nilai MT pada insang sebesar 2725.05 ± 0.6 nmol/mg. Kadar MT tertinggi adalah pada Pantai kenjeran diikuti oleh Pantai Ngembah dan yang terakhir adalah pada Pantai Banyu urip. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan kandungan logam berat pencemar Pb, Cd dan Hg

pada tiap-tiap lokasi penelitian yang mana berdasarkan penjelasan pada sub bab sebelumnya kandungan logam berat tertinggi pada insang kerang hijau (*Perna viridis L.*) didominasi oleh Pantai Kenjeran. Palar (2012) menyatakan bahwa protein thionein dapat membentuk ikatan dengan berbagai logam, dimana ikatan antara protein thionein dan logam berat membentuk metallothionein. Menurut Ringwood *et al.* (2004), MT dengan polutan logam berat memiliki hubungan positif. Kontaminan logam berat dapat mengakibatkan kerusakan sistemik suatu organisme dan mengakibatkan meningkatnya produksi MT. Dengan kata lain, biomarker MT akan muncul pada perairan yang terkontaminasi logam berat seperti Pb, Cd dan Hg.

Santosa (2003) berpendapat bahwa metallothionein merupakan sistem utama yang dimiliki oleh tubuh organisme dalam mendetoksifikasi logam berat seperti Hg, Pb dan logam berat lainnya. Selain itu, faktor lingkungan terutama suhu, salinitas, pH dan adanya cemaran logam berat juga berpengaruh terhadap sintesis metallothionein pada kerang hijau (*Perna viridis L.*). Dimens *et al.* (2006), menyatakan bahwa konsentrasi MT lebih tinggi pada suhu yang lebih tinggi. Abdelmigid *et al.* (2014) juga menambahkan, metallothionein dipengaruhi oleh faktor-faktor tertentu seperti periode pematangan gonad, fluktuasi suhu lingkungan, waktu pemaparan dan konsentrasi ambang batas polutan.

4.3.2 Kadar Metallothionein pada Lambung Kerang Hijau (*Perna viridis L.*)

Berdasarkan hasil analisis kandungan MT pada lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) menggunakan metode ELISA, didapatkan rata-rata kadar MT pada lambung Kerang hijau (*Perna viridis L.*) yang dapat dilihat pada Gambar 9 dan secara rinci data hasil analisis kadar MT pada insang kerang hijau (*Perna viridis L.*) disajikan pada Lampiran 7.



Gambar 9. Grafik hasil rata-rata kadar MT pada lambung kerang hijau (*Perna viridis*)

Berdasarkan hasil uji tukey dengan selang kepercayaan 95% kadar MT lambung pada pantai kenjeran berbeda nyata dengan pantai Banyu Urip dengan tingkat signifikansi sebesar 0.02 ($P < 0.05$). Sedangkan kadar MT lambung pada Pantai Ngemboh tidak berbeda nyata dengan Pantai Banyu Urip dengan signifikansi sebesar 0.329 ($P > 0.05$). Untuk lebih lengkap mengenai hasil uji Tukey dapat dilihat pada Lampiran 8. Pada Pantai Banyu Urip memiliki nilai MT pada organ lambung terendah jika dibandingkan dengan pantai Kenjeran dan Pantai Ngemboh.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kadar MT pada lambung kerang hijau (*Perna viridis* L.) di Pantai Ngemboh adalah sebesar 500 ng/ml, pada Pantai Banyu Urip sebesar 343 ng/ml dan yang terakhir yakni pada pantai Kenjeran sebesar 968 ng/ml. Menurut Khati, *et al.* (2012), dengan paparan Cd sebesar 200 $\mu\text{g/l}$ didapatkan nilai MT pada lambung sebesar 4014.37 ± 07 nmol/mg. Kadar MT tertinggi adalah pada Pantai kenjeran diikuti oleh Pantai Ngemboh dan yang terakhir adalah pada Pantai Banyu urip. Hal ini disebabkan

karena adanya perbedaan kandungan logam berat pencemar Pb, Cd dan Hg pada tiap-tiap lokasi penelitian yang mana berdasarkan penjelasan pada sub bab sebelumnya kandungan logam berat tertinggi pada organ lambung kerang hijau (*Perna viridis* L.) didominasi oleh Pantai Kenjeran. Palar (2012) menyatakan bahwa protein thionein dapat membentuk ikatan dengan berbagai logam, dimana ikatan antara protein thionein dan logam berat membentuk metallothionein. Menurut Ringwood *et al.* (2004), MT dengan polutan logam berat memiliki hubungan positif. Kontaminan logam berat dapat mengakibatkan kerusakan sistemik suatu organisme dan mengakibatkan meningkatnya produksi MT. Dengan kata lain, biomarker metallothionein akan muncul pada perairan yang terkontaminasi logam berat seperti Pb, Cd dan Hg.

Santosa (2003) berpendapat bahwa metallothionein merupakan sistem utama yang dimiliki oleh tubuh organisme dalam mendetoksifikasi logam berat seperti Hg, Pb dan logam berat lainnya. Selain itu, faktor lingkungan terutama suhu, salinitas, pH dan adanya cemaran logam berat juga berpengaruh terhadap sintesis MT pada kerang hijau (*Perna viridis* L.). Damiens *et al.* (2006), menyatakan bahwa konsentrasi MT lebih tinggi pada suhu yang lebih tinggi. Abdelmigid *et al.* (2014) juga menambahkan, metallothionein dipengaruhi oleh faktor-faktor tertentu seperti periode pematangan gonad, fluktuasi suhu lingkungan, waktu paparan dan konsentrasi ambang batas polutan.

4.4 Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air memiliki peran yang sangat penting dalam lingkungan perairan, selain sebagai media hidup yakni pertumbuhan dan perkembangan biakan bagi organisme yang hidup di air maupun yang hidup disekitar lingkungan perairan. Kualitas air sangat menentukan kondisi kesehatan biota-biota dalam perairan serta kemampuannya untuk beradaptasi. Pada

penelitian ini parameter kualitas air yang diukur yaitu parameter fisika yakni meliputi suhu dan salinitas, dan parameter kimia yang meliputi derajat keasaman (pH) dan oksigen terlarut (DO). Data hasil Pengukuran kualitas air Pantai Ngemboh, Banyu Urip dan Kenjeran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Kualitas air Pantai Ngemboh, Pantai banyu urip dan pantai Kenjeran

No	Parameter	Ngemboh	Banyu Urip	Kenjeran	Baku Mutu (Kep.Men LH no.51 Tahun 2004)
1	Suhu (°C)	31	31-32	32	28-32
2	Salinitas (‰)	26	26	25	≤ 34
3	pH	8.07	8.5	7.98	7-8,5
4	DO (mg/l)	7.22	4.2	5.9	> 5

4.4.1 Parameter Fisika

a. Suhu

Suhu merupakan faktor penting bagi kehidupan organisme perairan, karena suhu mempengaruhi baik aktivitas maupun perkembangbiakan dari organisme tersebut. Dari pengukuran suhu di tiga lokasi pengambilan sampel diperoleh kisaran suhu rata-rata yang hampir sama yakni sekitar 31°-32°C. Kisaran suhu pada ketiga Pantai ini masih dalam kategori normal menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 kisaran suhu untuk biota laut yakni berkisar 28° - 32°C. Suhu merupakan salah satu faktor abiotik yang sangat menentukan kelangsungan hidup organisme perairan. Suhu perairan juga mempengaruhi proses kelarutan akan logam-logam berat yang masuk ke perairan, dalam hal ini semakin tinggi suatu suhu perairan kelarutan logam berat akan semakin tinggi.

Suhu adalah parameter lingkungan yang sangat penting karena mempengaruhi sifat fisika kimia perairan. Semakin tinggi suhu air, daya toksisitas logam semakin meningkat, sebaliknya semakin rendah suhu air maka daya toksisitas logam juga menurun (Darmono, 2001). Selain itu Suhu merupakan

salah satu faktor yang sangat penting dalam mengatur proses kehidupan dan penyebaran organisme. Suhu air laut di suatu perairan dipengaruhi oleh kondisi atmosfer, dan intensitas penyinaran matahari yang masuk ke laut (Simanjuntak, 2009). Suhu air laut akan seirama dengan perubahan intensitas penyinaran matahari (Makmur *et al.*, 2013).

b. Salinitas

Hasil pengukuran nilai salinitas pada ketiga lokasi penelitian sebesar 26 ppt untuk pantai Ngemboh, 26 ppt untuk pantai Banyu Urip dan 25 ppt untuk pantai Kenjeran. Berdasarkan data tersebut maka kisaran nilai salinitas pada ketiga lokasi penelitian masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Kepmen LH No.51 Tahun 2004 yakni berkisar $\leq 34\text{‰}$. Yulinda (2011), menyatakan bahwa salinitas dapat mempengaruhi keberadaan logam berat di perairan, bila terjadi penurunan salinitas maka akan menyebabkan peningkatan daya toksik logam berat dan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar. Sedangkan menurut Bangun (2005), peningkatan nilai salinitas mempunyai pengaruh negatif terhadap konsentrasi logam berat, semakin tinggi salinitas maka konsentrasi logam berat akan semakin rendah.

Pada kadar garam atau salinitas yang semakin tinggi maka daya toksisitas logam akan semakin menurun dan sebaliknya (Darmono, 2001). Kenaikan suhu, penurunan pH dan penurunan salinitas perairan dapat menyebabkan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar (Waldichuk, 1974). Faktor yang mempengaruhi tingkat akumulasi logam berat adalah kondisi lingkungan perairan seperti suhu, pH dan salinitas (Rudiyanti, 2007).

4.4.2 Parameter Kimia

a. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) sangat penting sebagai parameter kualitas air karena ia mengontrol tipe dan laju reaksi beberapa bahan dalam air, tidak semua makhluk hidup bisa bertahan dengan perubahan nilai pH. Menurut KepMen LH No.51 Tahun 2004 kisaran pH untuk biota perairan yaitu 7-8,5. Berdasarkan hal tersebut, maka kisaran pH di ketiga lokasi penelitian digolongkan masih baik serta dapat mendukung kehidupan organisme yang hidup didalamnya.

Derajat keasaman (pH) mempunyai pengaruh yang besar terhadap tumbuhan dan hewan air. pH merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan ambang batas berbagai racun dan kisaran pH tergantung dari berbagai faktor antara lain suhu, konsentrasi dari oksigen terlarut. Menurut Yulinda (2011), pH akan mempengaruhi konsentrasi logam berat di perairan, dalam hal ini kelarutan logam berat akan lebih tinggi pada pH rendah, sehingga menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar.

Nilai pH berpengaruh terhadap toksisitas suatu senyawa kimia. Toksisitas logam berat memperlihatkan peningkatan pada pH rendah dan berkurang dengan meningkatnya pH. Nilai pH berkaitan erat dengan karbondioksida dan alkalinitas. Pada $\text{pH} < 5$, alkalinitas dapat mencapai 0. Semakin tinggi nilai pH, semakin tinggi pula nilai alkalinitas dan semakin rendah kadar karbondioksida bebas. Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap pertumbuhan pH dan menyukai nilai pH 7-8,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan. Toksisitas logam dapat memperlihatkan peningkatan pH rendah (Effendi, 2003).

b. Oksigen Terlarut (DO)

Menurut Barus (1996), Dissolved Oxygen (DO) merupakan banyaknya oksigen terlarut ke dalam suatu perairan. Oksigen terlarut merupakan suatu

faktor yang sangat penting di dalam ekosistem perairan, terutama sekali dibutuhkan untuk respirasi bagi sebagian besar organisme. Dari hasil pengukuran DO di tiga perairan didapatkan nilai DO pada Pantai Ngemboh berada pada kisaran 6.16 – 8.12 mg/l pada Pantai Banyu Urip kisaran nilai DO adalah sebesar 3.5 – 5 mg/l dan yang terakhir pada pantai Kenjeran kisaran nilai DO adalah sebesar 5.6-6.3 mg/l. Pada perairan pantai Ngemboh dan pantai Kenjeran kondisi DO sudah sesuai dengan Keputusan Menteri LH No.51 Tahun 2004 bahwa nilai DO yang memenuhi baku mutu adalah >5 mg/l. sedangkan pada pantai Banyuurip kondisi DO sedikit berada di bawah baku mutu hal ini mungkin dikarenakan pada Pantai Ngemboh keadaan belum begitu tercemar sehingga lebih banyak organisme hidup di sana yang pada pagi hari memanfaatkan oksigen, sehingga oksigen pada perairan tersebut sedikit pada pagi hari.

Pengaruh oksigen terlarut terhadap logam berat yaitu berbanding terbalik dimana semakin rendah kadar oksigen terlarut, semakin tinggi toksisitas logam berat, begitu juga sebaliknya. Namun pada perairan yang diperuntukkan untuk perikanan sebaiknya kadar oksigen tidak kurang dari 5 mg/liter (Wahyuni *et al.*, 2013). Adanya logam berat dalam tubuh organisme akan mengganggu sintesis Hb, sehingga proses pengikatan oksigen terganggu. Jika sintesis Hb dihambat maka kemampuan untuk mengikat oksigen juga semakin kecil, oksigen dibutuhkan tubuh untuk metabolisme (Yulaipi *et al.*, 2013).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

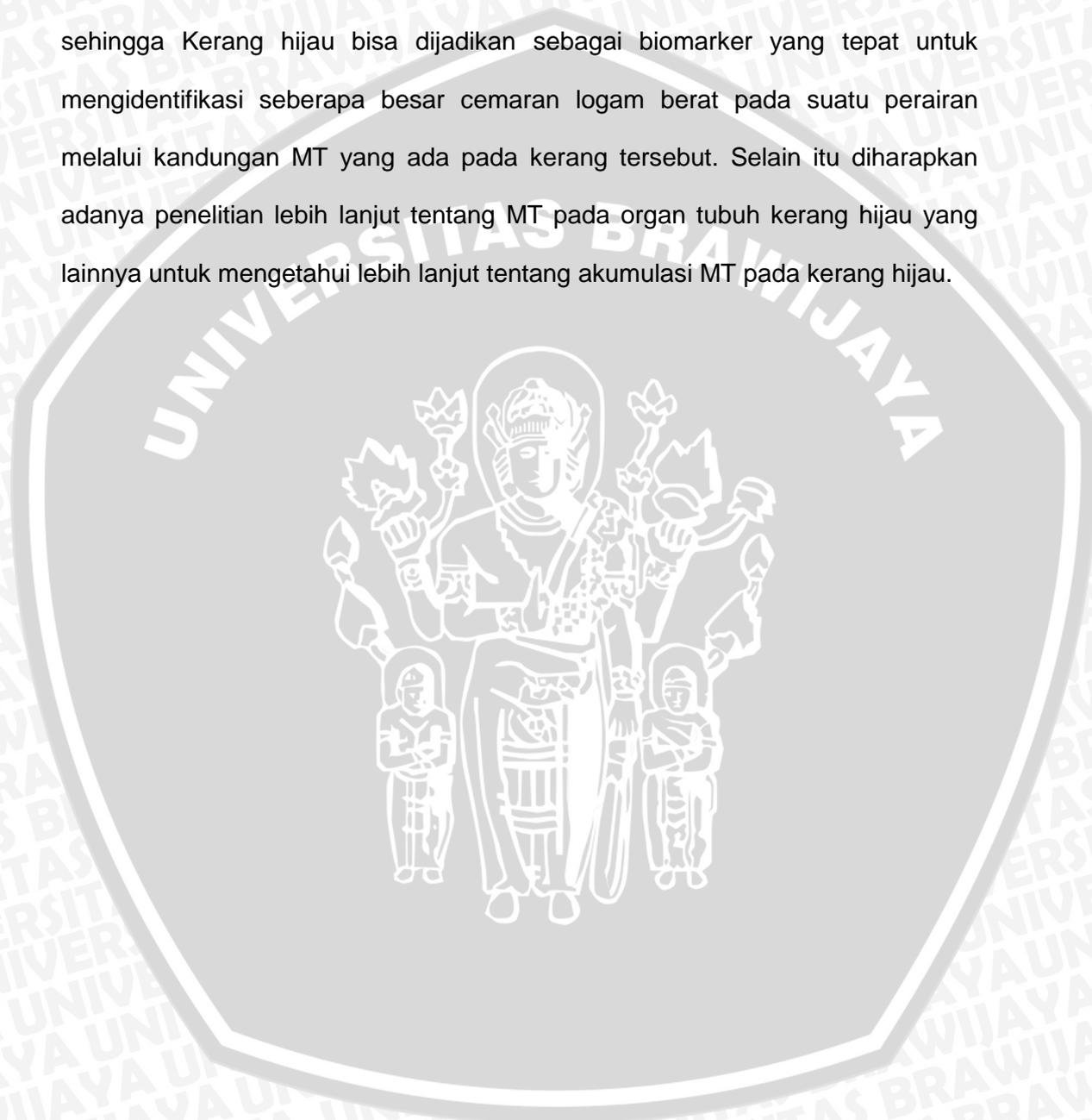
Dari hasil analisis kandungan MT pada insang kerang hijau (*Perna viridis L.*) nilai MT tertinggi pada Pantai Kenjeran sebesar 1365 ng/ml. Kemudian untuk kandungan MT tertinggi di lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) pada Pantai Kenjeran sebesar 968 ng/ml. Hasil analisis kandungan logam berat pada perairan Pantai Ngemboh, pantai Banyu Urip dan Pantai Kenjeran untuk logam berat Pb adalah berkisar antara 0.0095-0.0203 ppm, logam berat Cd pada kisaran 0.0069-0.0096 ppm dan untuk logam berat Hg berkisar 0.0069-0.0151 ppm.

Hasil analisis kandungan logam berat pada sedimen Pantai Ngemboh, Pantai banyu Urip dan Pantai Kenjeran untuk logam berat Pb adalah berkisar pada 1.3225-2.5374 ppm, logam berat Cd pada kisaran 0.3266-0.6683 ppm dan logam berat Hg dengan kisaran nilai 0.7037-1.5791 ppm. Hasil analisis kandungan logam berat pada organ insang kerang hijau (*Perna viridis L.*) Pantai Ngemboh, Pantai banyu Urip dan Pantai Kenjeran untuk logam berat Pb adalah berkisar pada 0.2911-0.5143 ppm, logam berat Cd pada kisaran 0.1373-0.2793 ppm dan logam berat Hg dengan kisaran nilai 0.1463-0.2792 ppm.

Hasil analisis kandungan logam berat pada organ lambung kerang hijau (*Perna viridis L.*) Pantai Ngemboh, Pantai banyu Urip dan Pantai Kenjeran untuk logam berat Pb adalah berkisar pada 0.2586-0.3582 ppm, logam berat Cd pada kisaran 0.1246-0.2662 ppm dan logam berat Hg dengan kisaran nilai 0.1463-0.2228 ppm. Dengan cemaran logam berat tertinggi oleh logam berat Pb pada Pantai Kenjeran.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa kandungan MT pada insang dan Lambung Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) pada ketiga lokasi memiliki perbedaan dan hal ini beriringan juga dengan kandungan logam beratnya sehingga Kerang hijau bisa dijadikan sebagai biomarker yang tepat untuk mengidentifikasi seberapa besar cemaran logam berat pada suatu perairan melalui kandungan MT yang ada pada kerang tersebut. Selain itu diharapkan adanya penelitian lebih lanjut tentang MT pada organ tubuh kerang hijau yang lainnya untuk mengetahui lebih lanjut tentang akumulasi MT pada kerang hijau.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdelmigid, Hala M., A. M. Hassan and S. M.F. G. El-Rab. 2014. Expression of Metallothionein as a Biomarker in Response to Various Stress Factors in Different Organisms. *International Journal of Advanced Research*. **2** (10): 683-695.
- Abdulgani, N., Aunurohim dan A. W. Indarto. 2008. Konsentrasi Kadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Surabaya dan Madura. ITS: Surabaya.
- Apriadi, D. 2005. Kandungan Logam Berat Hg, Pb dan Cr pada Air, Sedimen dan Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta. Skripsi. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Apriani, R.S. dan P. Wijaya. 2011. Penurunan Salinitas Air Payau dengan Menggunakan Resin Penukar Ion. Universitas Pembangunan Nusantara Veteran: Surabaya
- Arief, Dharma. 1984. Pengukuran Salinitas Air Laut dan Peranannya dalam Ilmu Kelautan. *Oseana*. **IX** (1) : 3-10.
- Bangun, Julius Marinus. 2005. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) Dalam Air, Sedimen dan Organ Tubuh Ikan Sokang (*Tricanthus nieuhofii*) Di Perairan Ancol, Teluk Jakarta. Skripsi. IPB: Bogor
- Barnes, R., 1968. Invertebrate Zoology. W.B Saunders Company, London.
- Barus, T.A. 1996. Metode Ekologis untuk Menilai Kualitas Perairan Lotik. Jurusan Biologi FMIPA. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Callahan, M.A. 1979. Introduction and Technical Background, Metals and Inorganics, Pesticides and PCBs. *Water-related environmental fate of 129 priority pollutants vol. 1*.; EPA-440/4-79-029A.
- Carpene E., G.Andreani and G.Isani. 2007. Metallothionein Function and Structural Characteristics. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 21:35-39.
- Clark, R. B. 1986. Marine Pollution. Clarendon Press. Oxford. 215h.
- Connel. D. W. and Miller. 2006. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. Penerbit Universitas Indonesia: Jakarta.
- Damiens, Gautier., C. Mouneyracb., F. Quiniouc., E. Hisc., M. Gnassia-Barellia and M. Roméoa. 2006. Metal Bioaccumulation and Metallothionein Concentrations in Larvae of *Crassostrea gigas*. *J. Envpol*. **140** (3): 492-499.

- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Penerbit UI Press. Jakarta.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup Dan Pencemaran Hubungannya Dengan Toksikologi Senyawa Logam*. UI Press : Jakarta.
- Desouky, M. M. A. 2012. Metallothionein is Up-Regulated in Molluscan Responses to Cadmium, but not Aluminum, Exposure. *The Journal of Basic & Applied Zoology*. **65**: 139-143.
- Dewi,N.K., Purwanto, H.R. Sunoko. 2014. Metallothionein pada Hati Ikan sebagai Biomarker Pencemaran Kadmium (Cd) di Perairan Kaligarang Semarang. *J. Manusia dan Lingkungan*. 21 (3) : 304-309.
- Dinas Kelautan Dan Perikanan Kab. Gresik. 2013. *Produksi Perikanan Laut Kerang Hijau Tahun 2011-2012*.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius: Yogyakarta
- Emersida, I., Sukendi dan B. Amin. 2014. Kandungan Logam Berat Pada Air dan Tiram (*Crassostrea cucullata* Born) di Muara Sungai Loskala Kota Lhokseumawe Provinsi Aceh. *Berkala Perikanan Terubuk*. 42 (1): 69-79.
- Eshmat, M Ervany., Gunanti Mahassari dan Boedi Rahardja. 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 (I)* 6: 101-108.
- FAO. 1998. *The Living Marine Resources Of The Western Central Pacific Volume 1. Seaweeds, Corals, Bivalves and Gastropods*. Food and Agriculture Organization Of The United Nations: Rome.
- FAO. 2011. Species Fact Sheets *Perna viridis* (Linnaeus, 1758). Disadur dari [http:// www.fao.org/fishery/species/2691/en](http://www.fao.org/fishery/species/2691/en) pada tanggal 29 Januari 2016
- Farabi, M.J. 2012. Teknik ELISA (*Enzyme Linked Immunosorbent Assay*). <http://makhyanjibril.blogspot.com/2014/10/teknik-elisa-enzyme-linked.html>. Diakses tanggal 26 Desember 2015 pukul 15.00 WIB
- Fardiaz S. 1992. *Polusi Air & Udara*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fernanda, Lidya. 2012. *Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Kromium (Cr) dan Kadmium (Cd) pada Kerang Hijau (Perna viridis) dan Sifat Fraksionasinya pada Sedimen Laut*. Skripsi. Universitas Indonesia: Depok.
- Hamzah, Faisal dan Agus Setiawan. 2010. Akumulasi Logam Berat Pb, Cu, dan Zn Di Hutan Mangrove Muara Angke, Jakarta Utara. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*. 2(2):41-52.
- Harahap S. 1991. *Tingkat Pencemaran Air Kali Cakung ditinjau dari Sifat Fisika-Kimia Khususnya Logam Berat dan Keanekaragaman Jenis Hewan*

- Benthos Makro. [tesis]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Hariono, B. 2005. Efek Pemberian Plumbum (Timah Hitam) Anorganik pada Tikus Putih (*Rattus norvegicus*). Jurnal Sain Vet. 23(2) Bagian Patologi Klinik FKH UGM, Yogyakarta, 107-108.
- Hariyadi, S. Suryadiputra dan B. Widigdo. 1992. Limnologi Metode Kualitas Air. Fakultas Perikanan. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Hariyadi, S., I.N.N Supriyadiputra., B Widigodo. 1992. *Limnologi*. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Hutabarat, S dan S. M. Evans. 1984. Pengantar Oseanografi. Penerbit UI Press: Jakarta.
- Hutagalung, H.P. 1984. Logam Berat Dalam Lingkungan Laut. *Pewarta Oceana*. IX (1): 12-19.
- Hutagalung, H.P., D. Setiapermana, dan S.H. Riyono. 1997. Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota. Buku 2. P3O-LIPI. Jakarta.
- Kamco. 2015. Eco Test Electronic pH Meter Instruction for Use. Unit 9. Curo park Frogmore St Albans, Herts. AL2 2DD
- Kastawi, Yusuf. 2008. Zoologi Avertebrata. Malang : Jica.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2004. Baku Mutu Air Laut.
- Khalil, Munawar. 2013. Pemaparan Merkuri Nitrat ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$) dengan Konsentrasi Berbeda pada Jaringan Hati Benih Ikan Kakap Putih (*Lates calcalifer* Bloch) : Tinjauan Histologi. J.Depik. 2(3):133-140.
- Khati, W., K.Ouali, C. Mouneyrac, A. Banoui. 2012 Metallothionein in Aquatic Invertebrates : Their Role in Metal Detoxification and Their Use in Biomonitoring. *Energy Procedia*.18:784-794
- Koester, Y. (1995) *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*, Terjemahan dari Chemistry and Ecotoxicology of Pollution oleh D.W. Connel, UI Press, Jakarta.
- Krystiyanti, Kartika. 2008. Adsorpsi Merkuri (II) Oleh Biomassa Enceng Gondok (*Eichornia crassipes*) yang Diimmobilisasi pada Matriks Polisilikat Menggunakan Metode Kolom. Skripsi. UIN Malang.
- Lasut, M. T. 2002. Metallothionein: suatu parameter kunci yang penting dalam penetapan baku mutu air laut (BMAL) Indonesia. *Jurnal Ekoton*. 2 (1): 61-68.
- Linde, A. R. and 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.

- Ly, J dan N.V. Lai. 1997. Manual Laboratory. University of tropical agriculture foundation.
- Makmur, Resky., Emiyarti dan L. O. A. Afu. 2013. Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen di Kawasan Mangrove Perairan Teluk Kendari. *Jurnal Mina Laut Indonesia*. **02** (06): 47-58.
- Maslukah, Lilik. 2006. Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn, dan Pola Sebarannya di Muara Banjir Kanal Barat, Semarang. Skripsi. Intitut Pertanian Bogor: Bogor.
- Mubyarto dan Suratno. 1981. Metode Penelitian Ekonomi. Yayasan Agro Ekonomika.
- Mulyanto. 2008. Metode Sampling. Diktat Kuliah. Universits Brawijaya : Malang.
- Nybakken, J.W. 1998. Biologi Laut, Suatu Pendekatan Ekologis. Gramedia: Jakarta.
- Overnell, J and Sparla, A, M., 1990. The Binding of Cadmium to Crab Cadmium Metallothienein. *Biochem. J* vol 267; 539- 540.
- Palar, H. 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineke Cipta. Jakarta.
- Palar, H. 2012. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Cetakan Kelima. Rineka Cipta: Jakarta.
- Panjaitan, G. Y. 2009. Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Pohon *Avicennia marina* di Hutan Mangrove. Skripsi. Universitas Sumatra Utara: Medan
- Pechenik, J.A., 2000. Biology of the Invertebrates. McGraw Hill company, New York, USA.
- Pratami CE. 2005. Sebaran Moluska (Bivalvia dan Gastropoda) di Perairan Teluk Jobokuto, Pantai Kartini, Jepara, Jawa Tengah. Skripsi. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Putri, R.A., T. Haryono, S. Kuntjoro. 2012. Keanekaragaman Bivalvia dan Peranannya sebagai Bioindikator Logam Berat Kromium (Cr) di Perairan Kenjeran, Kecamatan Bulak Kota Surabaya. *Jurnal Lentera Bio*. 2 (1) : 87-91.
- Reilly, C. 1991. Metal Contamination Food. Second Edition. Elsevier Science Publisher LTD. London and New York.
- Rakhmanda, A. 2011. Estimasi Populasi Gastropoda di Sungai Tambak Bayan Yogyakarta. *Jurnal Ekologi Perairan*. (1) : 1-7.
- Ringwood, H., J. Hoguet, C. Keppler and M. Gielazyn. 2004. Linkages between cellular biomarker responses and reproductive success in Oysters *Crassostrea virginica*. *Marine Environmental Res*. **58**: 912–922.

- Rochyatun, E., Kaisupy, T dan Rozak, A., 2006. Distribusi Logam Berat dalam air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane. *Jurnal Makara*. 10 (1): 35-40.
- Rudiyanti, S. 2007. Biokonsentrasi Kerang Darah (*Anadara granosa*) terhadap logam berat Cd yang Terkandung Dalam Media Pemeliharaan yang Berasal dari Perairan Kaliwungu, Kendal. *Jurnal Penelitian*. Universitas Diponegoro Semarang.
- Rumahlatu, D., A. D. Corebima, M. Amin dan F. Rachman. 2012. Kadmium dan Efeknya terhadap Ekspresi Protein Metallothionein pada *Deadema setosum* (Echinoidea; Echinodermata). *Jurnal Penelitian Perikanan*. 1 (1): 26-35.
- Ruslan. 2010. Kajian Penyebaran Merkuri di Aliran Sungai Poboya Kotamadya Palu. *Jurnal . Staf Pengajar Juursan Kimia F MIPA*. Universitas Tadulako.
- Ryvolova, M., S. Krizkova., V. Adam., M. Beklova., L. Trnkova., J. Hubalek and R. Kizek. 2011. Analytical Methods for Metallothionein Detection. *Current Analytical Chemistry*. 7: 243-261
- Salmin. 2005. Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Jurnal Oseana*. 30 (3): 21 – 26.
- Santosa, Slamet. 2003. Peran Metallothionein pada Autisme. *JKM*. 2 (2): 23-30.
- Sanusi, H.S. 2006. Kimia Laut, Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan. Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. 188h.
- Sarwono, J. 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Saqadah, Sumiyati. 2010. Materi Pokok Zoologi Invertebrata. Bandung: Universitas Islam Sunan gunung Djati Bandung.
- Setiawan, I. M. 2007. Pemeriksaan Enzim-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) untuk Diagnosis Leptospirosis. *Jurnal Ebbes Papyrus*. 13 (3) : 125-136.
- Setyobudiandi, I. 2000. Sumberdaya Hayati Moluska Kerang Mytilidae. Skripsi. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Setyono, D. E. D. 2006. Karakteristik Biologi dan Produk Keekerangan Laut. *Jurnal Oseana*. 31 (1) : 1-7.
- Simanjuntak, Marojahan. 2009. Hubungan Faktor Lingkungan Kimia, Fisika terhadap Distribusi Plankton di Perairan Belitung Timur, Bangka Belitung. *J. Fish. Sci*. XI (1): 31-45.
- Suaniti, Ni Made. 2007. Pengaruh EDTA dalam Pembentukan Kandungan Timbal dan Tembaga Pada Kerang Hjau (*Mytilus viridis*). *Ecotrophic*. 2 (1): 1-7.

- Sudarwin. 2008. Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sedimen Aliran Sungai dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang. Tesis. Universitas Diponegoro: Semarang.
- Sugiyono. 2005. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. Penerbit Alfabeta. Bandung.
- Suprpto. 2011. Metode Analisis Parameter Kualitas Air untuk Budidaya Udang. Shrimp Club Indonesia.
- Suryabrata, S. 1980. Metode Penelitian. CV Rajawali. Jakarta
- Suwignyo, Sugiarti. 2005. Avertebrata Air Jilid 1. Jakarta: Penebar Swadaya ,
- Syamsuri, Istamar. 2006. Biologi Umum Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Vakily, J.M. 1989. The biology and culture of mussels of the genus Perna. ICLARM Studies and Review 17, 63 pp.
- Wahyuni, H., S. B. Sasongko, D. P. Sasongko. 2013. Kandungan Logam Berat pada Air, Sedimen dan Plankton di Daerah Penambangan Masyarakat Desa Batu Belubang Kabupaten Bangka Tengah. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan.
- Waldichuk, M. 1974. Some Biology Concentration in Metal Pollution. In F.J.Verberg (eds). Pollution and Physiology of Marine Organism. Academic Press. London. Hal : 1-15.
- Widiati, Retno. 2010. Pengaruh Perbedaan Ukuran Kijing Taian (*Anodonta woodiana*) terhadap Laju Penyerapan Logam Berat Pb (Timbal). Skripsi. Universitas Brawijaya: Malang.
- Wulandari, S. Yulina., B. Yulianto., G. W. Santosa dan K. Suwartimah. 2009. Kandungan Logam Berat Hg dan Cd dalam Air, Sedimen dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) dengan Menggunakan Metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN). *Ilmu Kelautan*. **14** (3): 170-175.
- Yennie, Y. dan Murtini J. T., 2005. Kandungan logam berat air laut, sedimen dan daging kerang darah (*Anadara granosa*) di Perairan Menthok dan Tanjung Jabung Timur. *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*. **12** (1).
- Yulaipi, S., dan Aunurohim. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. **2** (2) : 2337-3520
- Yulinda, Eni., Zulkarnaini dan Nofri Antoni. 2011. Analisis Histologi Ginjal Ikan Baung (*Hemibagrus nemurus*) Yang Terindikasi Pencemaran Di Perairan Sungai Kampar Provinsi Riau. *Jurnal Perikanan Terubuk*. **39**(1): 1-14.
- Yuniarti, N. 2012. Keanekaragaman dan Distribusi Bivalvia dan Gastropoda (Moluska) di Pesisir Glayem Juntinyuat, Indramayu, Jawa Barat. Skripsi. Institut Pertanian Bogor: Bogor

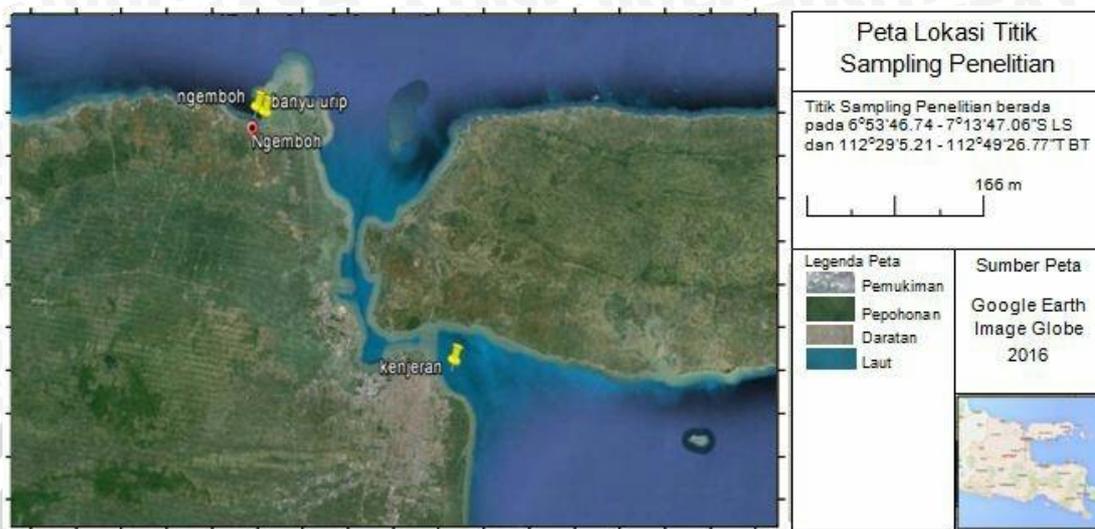
LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat dan Bahan

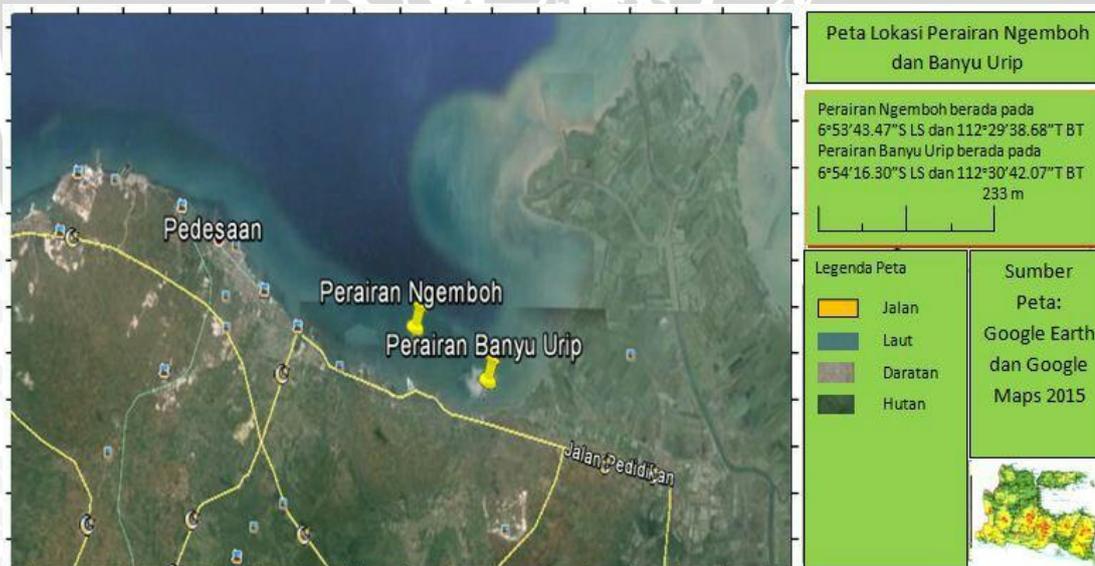
Aktivitas	Alat	Bahan
Tahap pengujian kadar metallothionein	Tahap Pengambilan Sampel	<ul style="list-style-type: none"> • Sectio set • coolbox • Jangka sorong
	Tahap homogenasi	Mortar <ul style="list-style-type: none"> • Sukrosa 0,5 M • Tris-HCl buffer 20 Mm • pH 8,6 mengandung 0,01% β-mercaptoethanol • Aliquot 3 ml
	Tahap Ekstraksi	Sentrifus <ul style="list-style-type: none"> • Supernatan • Formalin
	Tahap Pemurnian dan Kuantifikasi Metallothionein	<ul style="list-style-type: none"> • Sentrifus • Pengering • ELISA Reader <ul style="list-style-type: none"> • Penyangga (87:1:12) • Tris-HCl 5 mM • EDTA 1 mM • pH 7
Pengukuran kualitas air	Suhu	Thermometer Hg
	Oksigen terlarut	• DO meter
	pH (Derajat Keasaman)	pH meter
	Salinitas	<ul style="list-style-type: none"> • Refraktometer • Pipet tetes
	Logam berat Pb, Hg dan Cd	<ul style="list-style-type: none"> • Lampu elektroda Pb, Hg dan Cd • Timbangan sartorius • Oven • Hot plate • Beaker glass • Labu ukur • AAS
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Perna viridis L.</i> • HNO₃:HCl (1:1) sebanyak ± 10-15 ml • Kertas saring • Aquades • Larutan standar

Lampiran 2. Peta Lokasi Penelitian

❖ Lokasi Penelitian 3 Pantai



❖ Lokasi Penelitian 1 (Pantai Ngemboh)



Lanjutan Lampiran 2

❖ Lokasi Penelitian 2 (Pantai Banyu Urip)



❖ Lokasi Penelitian 3 (Pantai Kenjeran)



Lampiran 3. Hasil Analisa Logam Berat Pb, Cd dan Hg pada Air

Tabel 2. Kadar logam berat Hg pada air

Sampel Air (Hg)					
Daerah	Ulangan			Rata-rata	Standart Deviasi
	1	2	3		
Ngemboh	0.0107	0.0140	0.0083	0.0110	0.0029
Banyu Urip	0.0083	0.0099	0.0074	0.0085	0.0013
Kenjeran	0.0149	0.0132	0.0173	0.0151	0.0021

Tabel 3. Kadar logam berat Cd pada air

Sampel Air (Cd)					
Daerah	Ulangan			Rata-rata	Standart Deviasi
	1	2	3		
Ngemboh	0.0093	0.0122	0.0072	0.0096	0.0025
Banyu Urip	0.0072	0.0050	0.0086	0.0069	0.0018
Kenjeran	0.0072	0.0057	0.0093	0.0074	0.0018

Tabel 4. Kadar logam berat Pb pada air

Sampel Air (Pb)					
Daerah	Ulangan			Rata-rata	Standart Deviasi
	1	2	3		
Ngemboh	0.0157	0.0104	0.0186	0.0149	0.0042
Banyu Urip	0.0093	0.0110	0.0081	0.0095	0.0015
Kenjeran	0.0203	0.0244	0.0163	0.0203	0.0041

Lampiran 4. Hasil Analisis Logam Berat Pb, Cd dan Hg dalam Sedimen

Tabel 5. Kadar logam berat Hg pada Sedimen

Sampel Sedimen (Hg)					
Daerah	Ulangan			Rata-rata	Standart Deviasi
	1	2	3		
Ngemboh	0.8598	1.1095	0.9496	0.9730	0.1265
Banyu Urip	0.7158	0.6256	0.7696	1.5791	0.2838
Kenjeran	1.6444	1.2683	1.8245	0.7037	0.0728

Tabel 6. Kadar logam berat Cd pada Sedimen

Sampel Sedimen (Cd)					
Daerah	Ulangan			Rata-rata	Standart Deviasi
	1	2	3		
Ngemboh	0.6376	0.8225	0.5447	0.6683	0.1414
Banyu Urip	0.3110	0.3892	0.2797	0.5656	0.0943
Kenjeran	0.5761	0.4665	0.6543	0.3266	0.0564

Tabel 7. Kadar logam berat Pb pada Sedimen

Sampel Sedimen (Pb)					
Daerah	Ulangan			Rata-rata	Standart Deviasi
	1	2	3		
Ngemboh	2.1361	2.3652	1.8268	2.1094	0.2702
Banyu Urip	1.3229	1.6360	1.0085	1.3225	0.3138
Kenjeran	2.5229	2.3339	2.7553	2.5374	0.2111

Lampiran 5. Hasil Analisis Logam Berat Pb, Cd dan Hg pada Insang

Tabel 8. Kadar logam berat Hg pada Insang

Sampel Insang (Hg)					
Daerah	Ulangan			Rata-rata	Standart Deviasi
	1	2	3		
Ngemboh	0.1916	0.2110	0.1530	0.1852	0.029524905
Banyu Urip	0.1524	0.1147	0.1719	0.1463	0.029078572
Kenjeran	0.2857	0.2469	0.3051	0.2792	0.029633989

Tabel 9. Kadar logam berat Cd pada Insang

Sampel Insang (Cd)					
Daerah	Ulangan			Rata-rata	Standart Deviasi
	1	2	3		
Ngemboh	0.1863	0.1517	0.2200	0.1860	0.034150988
Banyu Urip	0.1377	0.1714	0.1029	0.1373	0.034251472
Kenjeran	0.2218	0.1700	0.2553	0.2157	0.042975923

Tabel 10. Kadar logam berat Pb pada Insang

Sampel Insang (Pb)					
Daerah	Ulangan			Rata-rata	Standart Deviasi
	1	2	3		
Ngemboh	0.3915	0.2807	0.3500	0.3407	0.05597824
Banyu Urip	0.2820	0.3521	0.2393	0.2911	0.056951939
Kenjeran	0.5194	0.4200	0.6034	0.5143	0.091807698

Lampiran 6. Hasil Analisis Logam Berat Pb, Cd dan Hg pada Lambung

Tabel 11. Kadar logam berat Hg pada Lambung

Sampel Lambung (Hg)					
Daerah	Ulangan			Rata-rata	Standart Deviasi
	1	2	3		
Ngemboh	0.1527	0.1715	0.1147	0.1463	0.028935791
Banyu Urip	0.1912	0.2489	0.1717	0.2039	0.040144281
Kenjeran	0.2295	0.2482	0.1908	0.2228	0.029274961

Tabel 12. Kadar logam berat Cd pada Lambung

Sampel Lambung (Cd)					
Daerah	Ulangan			Rata-rata	Standart Deviasi
	1	2	3		
Ngemboh	0.2717	0.2214	0.3055	0.2662	0.042318908
Banyu Urip	0.1898	0.1377	0.2233	0.1836	0.043135484
Kenjeran	0.1188	0.1534	0.1017	0.1246	0.026339008

Tabel 13. Kadar logam berat Pb pada Lambung

Sampel Lambung (Pb)					
Daerah	Ulangan			Rata-rata	Standart Deviasi
	1	2	3		
Ngemboh	0.2921	0.3213	0.2368	0.2834	0.042916547
Banyu Urip	0.2540	0.2817	0.2400	0.2586	0.021221766
Kenjeran	0.3492	0.4318	0.2936	0.3582	0.069538191

Lampiran 7. Hasil Analisis Kadar Metallothionein pada Insang dan Lambung

Tabel 14. Hasil uji MT pada Insang dan lambung

Nila Kurva Standart

$$y=0,00002+0,316$$

No.	Sampel	Abs	Kadar (ng/ml)
1	In BU1	0.388	360
2	In BU2	0.416	500
3	In BU3	0.372	280
rata-rata			380
4	L BU 1	0.392	380
5	L BU 2	0.389	365
6	L BU 3	0.373	285
rata-rata			343
7	In K1	0.636	1600
8	In K2	0.584	1340
9	In K3	0.547	1155
rata-rata			1365
10	L K1	0.495	895
11	L K2	0.556	1200
12	L K3	0.478	810
rata-rata			968
13	In N1	0.470	770
14	In N2	0.441	625
15	In N3	0.447	655
rata-rata			683
16	L N1	0.416	500
17	L N2	0.420	520
18	L N3	0.412	480
rata-rata			500

INSANG

No.	Sampel	Kadar (ng/ml)
1	BU	380
2	K	1365
3	N	683

LAMBUNG

No.	Sampel	Kadar (ng/ml)
1	BU	343
2	K	968
3	N	500

Ket:

BU = Banyu Urip
 K = Kenjeran
 N = Ngemboh

Lampiran 8. Hasil Uji Tukey

Hasil uji *One Way ANOVA* dengan uji lanjutan Tukey MT pada Insang

Test of Homogeneity of Variances

MT_Insang

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.441	2	6	.308

ANOVA

MT_Insang	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1526905.556	2	763452.778	33.567	.001
Within Groups	136466.667	6	22744.444		
Total	1663372.222	8			

Multiple Comparisons

MT_Insang

Tukey HSD

(I) lokasi	(J) lokasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Ngemboh	Banyu_Urip	303.333	123.138	.107	-74.49	681.15
	Kenjeran	-681.667*	123.138	.004	-1059.49	-303.85
Banyu_Urip	Ngemboh	-303.333	123.138	.107	-681.15	74.49
	Kenjeran	-985.000*	123.138	.001	-1362.82	-607.18
Kenjeran	Ngemboh	681.667*	123.138	.004	303.85	1059.49
	Banyu_Urip	985.000*	123.138	.001	607.18	1362.82

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

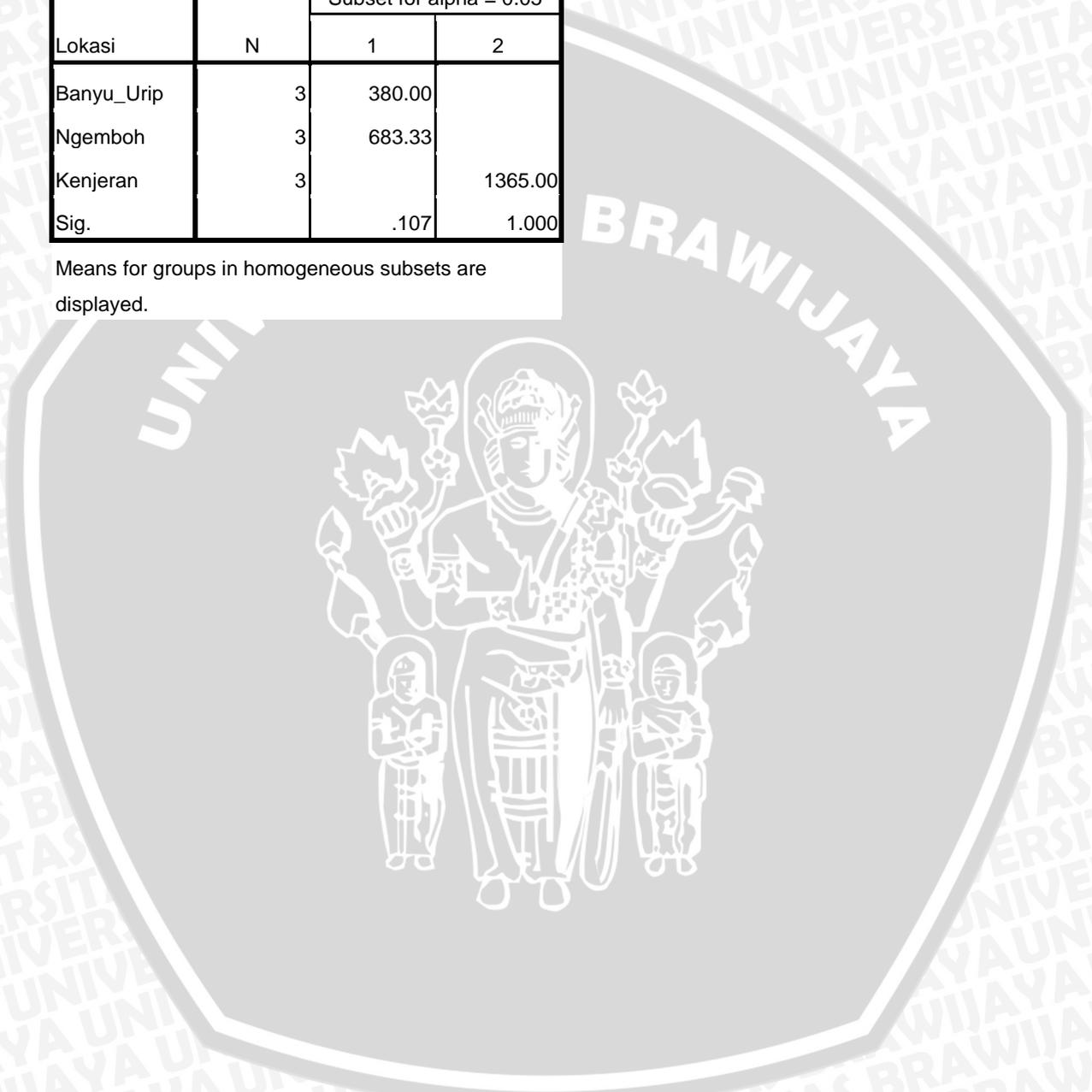
Lanjutan Lampiran 8.

MT_Insang

Tukey HSD

Lokasi	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Banyu_Urip	3	380.00	
Ngemboh	3	683.33	
Kenjeran	3		1365.00
Sig.		.107	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.



Lanjutan Lampiran 8

Hasil uji *One Way ANOVA* dengan uji lanjutan *Tukey MT* pada Lambung

Test of Homogeneity of Variances

MT_Lambung

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
7.535	2	6	.023

ANOVA

MT_Lambung	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	634505.556	2	317252.778	21.119	.002
Within Groups	90133.333	6	15022.222		
Total	724638.889	8			

Multiple Comparisons

MT_Lambung

Tukey HSD

(I) lokasi	(J) lokasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Ngemboh	Banyu_Urip	156.667	100.074	.329	-150.39	463.72
	Kenjeran	-468.333*	100.074	.008	-775.39	-161.28
Banyu_Urip	Ngemboh	-156.667	100.074	.329	-463.72	150.39
	Kenjeran	-625.000*	100.074	.002	-932.05	-317.95
Kenjeran	Ngemboh	468.333*	100.074	.008	161.28	775.39
	Banyu_Urip	625.000*	100.074	.002	317.95	932.05

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Lanjutan Lampiran 8

MT_Lambung

Tukey HSD

Lokasi	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Banyu_Urip	3	343.33	
Ngemboh	3	500.00	
Kenjeran	3		968.33
Sig.		.329	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.



Lampiran 9. Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air

Tabel 15. Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air

NO	Parameter	Lokasi	Hasil	Rata-Rata	Standart deviasi	Satuan
1	suhu	Ngemboh	31	31.00	0.00	°C
			31			
			31			
		Banyu Urip	32	31.67	0.58	°C
			31			
			32			
		Kenjeran	32	32.33	0.58	°C
			32			
	33					
2	pH	Ngemboh	7.9	8.10	0.20	-
			8.1			
			8.3			
		Banyu Urip	8.3	8.53	0.21	-
			8.7			
			8.6			
		Kenjeran	8.7	8.23	0.57	-
			8.4			
	7.6					
3	DO	Ngemboh	7.38	7.22	0.99	mg/l
			8.12			
			6.16			
		Banyu Urip	3.5	4.20	0.75	mg/l
			4.1			
			5			
		Kenjeran	5.7	5.87	0.38	mg/l
			6.3			
	5.6					
4	Salinitas	Ngemboh	26	26.00	0.00	ppt
			26			
			26			
		Banyu Urip	28	26.67	1.15	Ppt
			26			
			26			
		Kenjeran	25	25.00	0.00	Ppt
			25			
	25					

Lampiran 10. Dokumentasi Kegiatan



Gambar 10. pengukuran pH



Gambar 11. Pengukuran DO



Gambar 12. pengambilan sampel Kerang Hijau (*Perna viridis L.*)



Gambar 13. pemberian HNO₃ pada sampel air dan sedimen



Gambar 14. Kerang Hijau (*Perna viridis L.*)



Gambar 15. pengukuran sampel kerang hijau



Gambar 16. Sampel kerang yang dibedah



Gambar 17. pembedahan sampel kerang hijau di Lab. Reproduksi Ikan

