

**Kadar logam cd (kadmium) dalam daging kerang thothok (*geloina erosa*),
air, dan sedimen mangrove
di segara anakan Cilacap**

Oleh:

Ika Hidayati

M.0401034

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perairan daerah Cilacap merupakan perairan yang dinamik, karena terjadi pencampuran (*mixing*) antara perairan tawar dan laut. Keseimbangan komposisi komponen unsur hara, bahan organik, dan biomassa sangat penting bagi kemantapan ekosistem perairan, namun hubungan kemantapan tersebut akan terganggu apabila mendapat masukan bahan pencemar, baik yang bersifat racun, radioaktif ataupun suhu panas. Pencemaran oleh bahan-bahan industri yang mengandung bahan berbahaya, misalnya pestisida atau logam berat, termasuk merkuri (Hg), kadmium (Cd), dan plumbum (Pb) cenderung meningkatkan kasus keracunan dan gangguan kesehatan masyarakat (Sugianto, dkk., 1991).

Aktivitas industri Cilacap dapat mempengaruhi lingkungan sekitarnya, termasuk mangrove Segara Anakan yang juga memiliki berbagai biota. Industri kilang minyak, pabrik semen, aktivitas pertanian (pupuk pestisida), aktivitas penduduk (sampah yang mengandung logam berat), dan dari alam sendiri

merupakan sumber dari logam Cd. Industri-industri yang menggunakan logam Cd antara lain adalah industri-industri yang bergerak dalam bidang *electroplating*, zat warna, alat-alat listrik, baterai, TV, produk-produk karet dan plastik, reaktor nuklir, fungisida, dan fotografi (Darmono, 1995; Alloway dan Ayres, 1997).

Keracunan logam Cd dapat membahayakan kesehatan paru-paru, tulang, hati, kelenjar reproduksi, dan ginjal. Logam Cd juga bersifat *neurotoksin* yang menimbulkan dampak kerusakan indera penciuman (Darmono, 1995). Cd merupakan logam berat karsinogenik pada hewan yang menyebabkan immunosupresif (Yucesoy, *et al.*, 1997). Surtipanti dkk., (1992), menyatakan bahwa merkuri memiliki sifat yang sama dengan kadmium yaitu selain bersifat non-esensial juga toksik terhadap organisme yang hidup di air. Oleh karena sifat tersebut, dalam berbagai penelitian logam berat, kedua jenis logam tersebut selalu mendapat prioritas untuk dianalisis dan dievaluasi.

Kerang thothok merupakan organisme yang banyak terdapat di mangrove dan dikonsumsi oleh masyarakat. Kerang merupakan organisme penyaring makanan (*filter feeder*) yang hidup menetap di dasar perairan dan mempunyai sifat mengakumulasi bahan-bahan pencemar seperti pestisida, hidrokarbon dan logam berat ke dalam jaringan tubuh. Kerang yang hidup di daerah *intertidal* merupakan organisme yang mampu hidup pada kisaran salinitas yang lebar, teradaptasi serta mempunyai toleransi tinggi terhadap berbagai variasi dan perubahan parameter atau sifat lingkungan. Selain itu kerang hidup pada wilayah yang luas sehingga dapat mewakili daerah yang diteliti, mudah diambil, tidak cepat rusak, dan dapat menunjukkan korelasi antara kandungan bahan pencemar dalam air dan tubuh organisme (Pagoray, 2001).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukan penelitian tentang kadar logam berat Cd (kadmium) dalam daging kerang thothok (*Geloina erosa*), air, dan sedimen mangrove di Segara Anakan Cilacap.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, diajukan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Berapa besar kadar logam Cd yang terdapat dalam daging kerang Thothok, air, dan sedimen mangrove (*Geloina erosa*) di Segara Anakan Cilacap ?
2. Bagaimanakah perbedaan kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok (*Geloina erosa*), air, dan sedimen mangrove di Segara Anakan (Muara Dua dan Motean) dan Dermaga Lomanis?
3. Bagaimanakah hubungan kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok (*Geloina erosa*), air, dan sedimen mangrove dengan parameter lingkungan?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah, diajukan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok (*Geloina erosa*), air, dan sedimen mangrove di Segara Anakan Cilacap.
2. Mengetahui perbedaan kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok (*Geloina erosa*), air, dan sedimen mangrove di Segara Anakan (Muara Dua dan Motean) dan Dermaga Lomanis Cilacap.
3. Mengetahui hubungan kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok (*Geloina erosa*), air, dan sedimen mangrove dengan parameter lingkungan.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bermanfaat dalam:

1. Memberikan data tentang kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok (*Geloina erosa*), air, dan sedimen mangrove Segara Anakan (Muara Dua dan Motean) dan Dermaga Lomanis Cilacap.



2. Memberikan informasi kepada masyarakat pada umumnya terkait kadar logam Cd yang aman untuk dikonsumsi, dan kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok (*Geloina erosa*) di mangrove Segara Anakan (Muara Dua dan Motean) dan Dermaga Lomanis Cilacap.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

1. Pencemaran Lingkungan oleh Logam Berat

Pencemaran atau polusi adalah suatu kondisi yang telah berubah dari bentuk asal pada keadaan yang lebih buruk. Pergeseran bentuk tatanan dari kondisi asal pada kondisi yang buruk ini dapat terjadi karena masukan dari bahan-bahan pencemar atau polutan. Polutan tersebut pada umumnya mempunyai sifat toksik, berbahaya, dan menjadi pemicu terjadinya pencemaran (Palar, 1994). Menurut UULH No. 23 Bab I Pasal 1 ayat (12) tahun 1997, pencemaran lingkungan hidup adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (Warlina, 2004).

Pencemaran menjadi signifikan, terutama di wilayah pantai yang merupakan muara utama sebagian besar bahan pencemar antropogenik. Logam berat dalam perairan laut menjadi kajian penting dalam bidang ekotoksikologi

karena kadarnya terus-menerus meningkat dan dapat menjadi toksik (Langston (1990), Calisse dan Alzieau (1993) dalam Storelli, *et al.*, 2001). Logam berat merupakan salah satu bahan pencemar yang bersifat toksik dan dapat mempengaruhi aspek ekologis dan biologis (Dahuri dkk., 1996).

Logam berat di lingkungan, berasal dari sumber antropogenik maupun alami. Kegiatan antropogenik memberikan kontribusi yang lebih besar dibanding sumber alami. Proses alamiah seperti erosi bebatuan dan aktivitas gunung berapi dapat menghasilkan logam berat. Batuan dan tanah di air permukaan merupakan sumber alamiah terbesar dari logam dalam lingkungan perairan. Sumber alami logam yang lain adalah pengendapan atmosferik, jatuhnya atmosferik, perubahan geologi dan vegetasi mati atau busuk (Adriano, 1986; Connel, 1995; Pinto dkk, 2003). Sumber logam antropogenik adalah sampah domestik, limbah cair tambang, dan buangan industri bahan kimia pertanian, pembakaran bahan bakar fosil, industri metalurgi, dan elektronik (Alloway dan Ayres, 1997; Jones *et al.*, 2000; Bilos *et al.*, 2001; dan Pinto *et al.*, 2003). Limbah yang mengandung arsen (As), kadmium (Cd), timah hitam (Pb), dan merkuri (Hg) selain berasal dari limbah penggunaan batu bara dan minyak bumi, juga berasal dari limbah pabrik peleburan besi dan baja, pengabuan sampah, pabrik semen, dan limbah dari penggunaan logam (Darmono, 1995).

Kandungan logam air meningkat apabila limbah perkotaan, pertambangan, pertanian dan industri yang banyak mengandung logam berat masuk ke perairan. Dari jenis-jenis limbah ini, umumnya yang banyak mengandung logam berat adalah limbah perindustrian (Asiah dkk., 2000; Hutagalung, 1991 dalam Pagoray, 2001). Pencemaran logam ini menyebabkan gangguan yang signifikan dan permanen dalam sistem perairan yang akhirnya

berdampak pada penurunan kualitas lingkungan dan ekologi (Storelli *et al.*, 2001). Peningkatan kadar logam berat dalam air laut yang terus berlangsung akan diikuti peningkatan kadar logam berat pada tubuh biota (Asiah dkk., 2000).

Menurut Forstner dan Prosi (1979), faktor yang menyebabkan logam berat tersebut dikelompokkan ke dalam zat pencemar ialah:

- a. Logam berat tidak dapat terurai melalui biodegradasi seperti bahan organik.
- b. Logam berat dapat terakumulasi dalam lingkungan terutama sedimen sungai dan laut, karena dapat terikat dengan senyawa organik dan anorganik melalui proses adsorpsi dan pembentukan senyawa kompleks. Logam berat dapat terakumulasi dalam sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih besar dari air.

Dalam perairan logam ditemukan dalam bentuk:

- a. Terlarut, yaitu logam yang membentuk ikatan dengan senyawa organik dan anorganik.
- b. Tidak terlarut, terdiri dari kompleks metal yang terabsorpsi pada zat tersuspensi (Hamidah, 1986).

Kegiatan industri selain memberikan dampak positif juga memberi dampak negatif, yaitu menyebabkan limbah logam berat masuk ke lingkungan, sehingga membahayakan makhluk hidup di lingkungan tersebut bahkan manusia yang memanfaatkannya. Rantai makanan dapat meningkatkan kadar logam berat secara biologi (biomagnifikasi), sehingga konsentrasi yang sangat tinggi akan ditemukan pada mata rantai makanan konsumen terakhir (Dahuri dkk., 1996; Lasut, 2001).

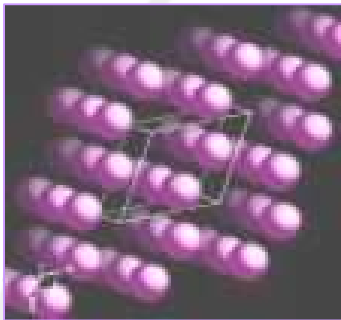
Tabel 1. Tingkatan toksisitas logam berat menurut IMCO/ FAO/WHO Group of Experts on the Scientific Aspect of Marine pollution (1969):

Derajat Toksisitas	Ambang Batas Toksisitas Akut (mg l ⁻¹)
Non toksik	Diatas 10000
Sedikit toksik	1000-10000
Toksik sedang	100-1000
Toksik	1-100
Sangat toksik	Dibawah 1



Berdasarkan daya racun logam berat terhadap organisme aquatik, logam dapat diurutkan dari tinggi ke rendah; Hg, Cd, Cu, Zn, Ni, Pb, Cr, Al, dan Co (Abel, 1996).

2. Logam Kadmium (Cd)



Gambar 1. Senyawa Cd



Gambar 2. Baterai Ni-Cd

Kadmium (Cd) merupakan unsur golongan IIB (logam) yang mempunyai bilangan oksidasi +2, ion dalam larutan tidak berwarna, dan senyawa dalam bentuk padatan tidak berwarna mencolok (Petrucci, 1987). Cd mempunyai nomor atom 48, massa atom 112,4, kerapatan 8,64 g/cm³ (gambar 1 menunjukkan kerapatan dan kepadatan senyawa Cd), titik cair 320,9⁰C, dan titik didih 767⁰C (Stoepler, 1992). Di dalam air Cd hanya sedikit dan tidak bereaksi dengan H₂O, melainkan hanya terhidrasi di dalamnya sebagai ion kompleks berikatan dengan CO₃²⁻, Cl⁻ dan SO₄²⁻. Keberadaan ion Cd²⁺ di dalam air tergantung kadar garam dan keasaman (pH). Air dengan kadar garam dan alkalinitas tinggi akan mempercepat spesiasi ion Cd²⁺ yaitu dengan membentuk pasangan ionnya (Marganof, 2003).

Kadmium merupakan logam yang bersumber dari aktivitas alamiah dan antropogenik. Secara alamiah Cd didapat dari letusan gunung berapi, jatuhnya atmosferik, pelapukan bebatuan, dan jasad organik yang membusuk. Logam Cd juga didapat dari kegiatan manusia, yaitu industri kimia, pabrik tekstil, pabrik semen, tumpahan minyak, pertambangan, pengolahan logam, pembakaran bahan bakar, dan pembuatan serta penggunaan pupuk fosfat. Dalam kehidupan sehari-hari, mainan anak-anak, fotografi, tas dari vinil, dan mantel merupakan sumber Cd (Darmono, 1995; Connel, 1995; ATSDR, 1999; Wisconsin Public Health, 2000).

Industri menggunakan Cd dalam pembuatan baterai Ni-Cd (gambar 2), pigmen Cd (membuat warna lebih cerah pada gelas, keramik, plastik dan cat halus), stabilisator Cd untuk mencegah radiasi dan oksidasi, pelapis baja dan alumunium, pematrasi, industri metalurgi, sebagai campuran Zn, dan bahan campuran semen, bahan bakar fosil dan pupuk fosfat (Darmono, 1995; Alloway dan Ayres, 1997). Cd umumnya terdapat bersama-sama dengan seng dalam bijihnya, sehingga Cd diperoleh sebagai hasil sampingan produksi seng. Cd juga menggantikan seng sebagai pelindung besi. Selain itu Cd digunakan dalam alloy, solder bertitik leleh rendah, solder alumunium, aditif untuk meningkatkan kekuatan tembaga, dan karena kemampuan Cd menyerap neutron, digunakan sebagai pengaduk dan perisai untuk reaktor nuklir (Petrucci, 1987).

Kadmium masuk ke dalam air melalui beberapa cara yaitu dekomposisi atmosfer yang berasal dari kegiatan industri, erosi tanah dan bebatuan, air hujan, kebocoran tanah pada tempat-tempat tertentu, dan penggunaan pupuk di lahan pertanian (Marganof, 2003). Angin menggerakkan Cd di udara ke tanah dan air dalam bentuk partikulat. Pada manusia Cd masuk ke dalam tubuh melalui rokok,

makan dan minuman yang mengandung Cd, udara yang dihirup, perhiasan, dan tempat kerja yang dapat memaparkan Cd. Partikel Cd yang sangat kecil dapat langsung masuk ke dalam paru-paru dan tubuh untuk kemudian ditransfer ke tulang, lever, dan ginjal (ATSDR, 1999; Wisconsin Public Health, 2000).

Kadmium merupakan logam berat kelas B, yaitu logam-logam yang terlibat dalam proses enzimatik dan dapat menimbulkan polusi. Logam kelas B masuk melalui ikatan protein (*ligand binding*). Logam kelas B lebih reaktif terhadap ikatan ligan dengan sulfur dan nitrogen, sehingga hal ini sangat penting dalam sistem fungsi metaloenzim yang bersifat racun terhadap metabolisme sel itu sendiri. Apabila sitoplasma sel mengikat logam nonesensial atau sitoplasma mengikat logam yang tidak semestinya maka akan menyebabkan rusaknya kemampuan katalitik (detoksikasi) dari sel tersebut. Hal ini sering terjadi pada sel-sel respirasi yaitu epitel insang yang menjadi rusak karena beberapa logam, termasuk Cd yang termasuk kelas B terikat sebagai ligan. Pada kondisi perairan terkontaminasi Cd merupakan salah satu logam yang tidak diregulasi oleh organisme air. Logam tersebut terus-menerus terakumulasi oleh jaringan organisme tersebut sehingga kandungannya dalam jaringan naik terus sesuai dengan kenaikan konsentrasi logam dalam air, dan logam ini hanya diekskresi oleh organisme air dalam jumlah yang sedikit. (Bellinger *et al.*, 1992; Darmono, 1995). Cd diekskresikan sangat lamban dengan waktu paruh sekitar 30 tahun (Lauwerys, *et al.*, 1979 dalam Lu, 1995).

Kadmium merupakan kontaminan lingkungan yang dapat menimbulkan efek membahayakan fungsi-fungsi biologis. Cd telah jelas bersifat karsinogenik pada hewan, dan dimasukkan pada golongan 2A dari kategori IARC (International Agency for Research on Cancer) yang bersifat karsinogen

(Yucesoy *et al.*, 1997). Kadmium merupakan logam berat yang sangat membahayakan kesehatan manusia. Salah satu dampak keracunan Cd adalah penyakit tulang yang menimbulkan rasa nyeri yang dikenal dengan "*itai-itai kyo*". Keracunan logam Cd dalam waktu lama dapat membahayakan kesehatan paru-paru, tulang, hati, ginjal, kelenjar reproduksi, berefek pada otak, dan menyebabkan tekanan darah tinggi. Logam Cd juga bersifat neurotoksin yang menimbulkan dampak kerusakan indera penciuman (Petrucci, 1987; Mason, 1991; Bellinger *et al.*, 1992; Darmono, 1995).

Gejala yang ditimbulkan dari keracunan Cd:

- a. Iritasi perut, diare, dan muntah-muntah setelah mengkonsumsi makanan dan minuman yang mengandung Cd.
- b. Iritasi paru-paru, merusak sistem organ paru-paru (emfisema dan bronkhitis)
- c. Sistem imun menurun
- d. Batu ginjal
- e. Berat badan rendah bagi bayi yang dilahirkan dari ibu yang terpapar Cd di luar ambang batas (Anonim, 2001; Haas, 1984).

4. Kerang Thothok (*Geloina erosa*)



Gambar 3. Kerang Thothok (*Geloina erosa*)

Klasifikasi *Geloina erosa*:

Phylum : Mollusca
Class : Bivalvia/Pelecypoda/Lamellibranchia
Subclass : Heterodonta/Lamellibranch
Ordo : Veneroidea
Superfamili : Corbiculoidea
Famili : Corbiculidae
Genus : *Geloina* (*Polymesoda*)
Spesies : *Geloina erosa* (Lamprell dan Healy, 1998 dalam Dwiono, 2003; Korniushtin dan Glaubrecht, 2003).

Cangkang kerang *Geloina erosa* (gambar 3) dapat mencapai ukuran diameter 110 mm, berbentuk lonjong-bulat, bagian posterior terpankaskan pada individu dewasa dan tua, sedikit menggembung, dan tebal. Panjang cangkang (jarak antero-posterior) sama dengan jarak dorso ventral. Garis pertumbuhan yang konsentrik berubah menjadi tonjolan. Bagian luar kulit berwarna putih yang ditutupi oleh periostrakum yang tebal, mengkilap berwarna kuning kehijauan sewaktu muda dan coklat kehitaman pada kerang dewasa. Bagian dalam kulit berwarna putih, menyerupai kapur atau porselen. Jejak otot-otot aduktor dihubungkan dengan garis pallial. Gigi engsel kuat, gigi kardinal tengah dan belakang pada cangkang kanan serta gigi kardinal tengah dan depan pada cangkang kiri bercabang (Shrock and Twenhofel, 1952; Barnest, 1986; Dwiono, 2003).

Geloina erosa mempunyai bentuk simetri bilateral yang terdiri dari dua cangkang (bivalvia). *Geloina erosa* berwarna hijau kehitaman karena lumpur

yang menempel pada cangkang. Kerang termasuk *filter feeder* yaitu hewan yang mendapatkan makanan dengan jalan menyaring air yang masuk ke dalam tubuhnya. Makanan yang masuk bersama air digerakkan dan diperas dengan bantuan cilia pada tubuhnya. Cilia mampu bergetar 2-20 kali perdetik. Makanan kerang dapat berupa zooplankton, fitoplankton, bakteri, flagellate, protozoa, detritus, alga, dan berbagai zat yang tersuspensi dalam perairan tempat tinggalnya (Storer *et al.*, 1979; Barnest, 1986; Anonim, 2003).

Sistem pencernaan kerang meliputi, mulut kecil yang tidak berahang, labial palps yang bercilia, oesofagus yang pendek, lambung, usus, rektum, dan anus. Lambung mempunyai zat kristal yang berfungsi menghasilkan pati penurun enzim berguna dalam mencerna plankton. Rektum mempunyai tipe tiposol atau berbentuk longitudinal dan melipat. Sistem sirkulasi kerang terdiri dari hati, pericardium, aorta, vena, dan arteri. Sistem saraf kerang meliputi tiga pasang ganglia, otak, dan statokis untuk keseimbangan kaki (Storer *et al.*, 1979).

Suatu toksikan melewati membran sel melalui empat mekanisme; difusi pasif, filtrasi melalui pori-pori membran, transpor dengan perantara carrier yang melibatkan pembentukan kompleks zat kimia dan carrier makromolekuler di satu sisi membran, dan endositosis. Jalur utama bagi penyerapan toksikan ke dalam tubuh organisme dapat terjadi melalui saluran pencernaan dan saluran pernapasan. Lambung merupakan tempat penyerapan yang penting. Setelah suatu toksikan memasuki darah, maka akan terdistribusi dengan cepat ke seluruh tubuh dan akan terjadi pengikatan dan penyimpanan. Daging kerang tersusun atas otot lurik dan jaringan otot kaya akan pembuluh-pembuluh darah. Protein plasma dapat mengikat komponen fisiologik normal dalam tubuh di samping banyak senyawa asing lainnya termasuk toksikan. Hati dan ginjal

mempunyai kapasitas yang tinggi untuk mengikat toksikan. Jaringan lemak merupakan depot penyimpanan yang penting bagi zat kimia dengan cara pelarutan sederhana dalam lemak netral (Lu, 1995; Lesson *et al*, 1997).

Kadmium akan terakumulasi dalam jumlah yang cukup banyak pada invertebrata terutama bivalvia (kerang) dan gastropoda (Bryan, 1984). Pada organisme logam membentuk ikatan protein-logam (*metalotionin*). Darah terutama eritrosit akan mendistribusikan Cd yang terserap ke seluruh organ tubuh. Organ tubuh yang banyak mengakumulasi logam Cd adalah saluran pencernaan (Stoepler, 1992). Kerang mensekresikan Cd dalam jumlah sedikit melalui urine (Bellinger, 1992).

Jenis kerang baik jenis kecil (*oister*) maupun jenis besar (*klam*) merupakan indikator yang baik dalam memonitor suatu pencemaran lingkungan oleh logam. Berbagai logam berat akan terendapkan ke sedimen dan dasar perairan bersama-sama dengan partikel-partikel halus yang bersifat *flocculation*, sehingga keberadaan logam-logam berat di sedimen akan berada terus menerus di dasar perairan (Dahuri dkk, 1996 dan Lasut, 2001). Kerang hidup menetap di dasar perairan (*sessile*) sehingga mudah menyerap bahan pencemar termasuk logam berat yang tersuspensi di perairan (*filter feeder*). Di samping itu kerang mempunyai ketahanan hidup yang relatif lebih tinggi terhadap bahan pencemar dibanding ikan, kerang ini mampu hidup di lumpur, mampu hidup di kisaran salinitas yang lebar sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pembersih lingkungan (Miller, 1975; Pagoray, 2001).

Analisis logam dalam jaringan kerang dapat mengetahui kadar pencemaran logam pada daerah tersebut. Kerang dapat digunakan untuk memonitor pengaruh konsentrasi logam terhadap kualitas air, faktor musim,

temperatur, kadar garam, diet, dan reproduksi. Kerang dapat mengakumulasi logam Zn (seng) dan Cu (tembaga) berlipat ganda lebih besar daripada konsentrasi logam tersebut dalam air sekitarnya. Hal ini menunjukkan bahwa kerang merupakan bioakumulator yang baik terhadap logam daripada organisme lainnya (Bryan, 1984; Goksu *et al.*, 2005; Darmono, 1995).

Kerang merupakan salah satu organisme akuatik yang dapat dikonsumsi oleh manusia. Kerang tothok banyak ditemukan di daerah mangrove dan dikonsumsi oleh masyarakat sekitar. Konsumsi terhadap kerang yang terkontaminasi logam Cd di atas ambang batas dapat menimbulkan gangguan kesehatan. Keracunan Cd dapat menimbulkan sistem imun menurun, *itai-itai kyo*, dan kanker (Belinger, 1992; Yucesoy *et al.*, 1997).

4. Ekosistem Mangrove Segara Anakan

Mangrove merupakan ekosistem pesisir pantai di kawasan muara, rawa pasang surut (*tidal creek*) dan teluk-teluk yang terlindungi. Ekosistem mangrove merupakan kawasan ekoton antara komunitas laut dengan pantai dan daratan, sehingga memiliki ciri-ciri tersendiri (Dahuri dkk., 1996; Tiwow, 2003). Perairan mangrove merupakan percampuran air tawar dan air laut. Jumlah air tawar yang mengalir ke dalam mangrove tergantung pada luas DAS, iklim, sifat aliran sungai, dan pembagian sungai dari pemanfaatan lahan lainnya (Departemen Kehutanan, 1997)



Gambar 4. Segara Anakan

Peranan air tawar dalam perairan mangrove adalah 1). sebagai pengencer air bergaram dalam melindungi benih (ikan, udang, kerang, dan biota lain), dalam merubah temperatur air, dan dalam mengatur tekanan osmotik (osmoregulasi) organisme laut, 2). sebagai pengangkut unsur hara utama dan buangan sisa metabolisme, 3). sebagai moderator reaksi-reaksi dalam air bergaram yang bergantung pada konsentrasi, 4). sebagai mekanisme pemisah sumberdaya di perairan pantai dalam gerakan vertikal dan distribusi organisme, 5). sebagai mekanisme pemotong dan pengisi dalam memelihara zona pemisah dan pencampur garam dan dalam mengangkut bahan-bahan *allochthonous* ke muara sebagai fungsi dari curah hujan, drainase, dan topografi, dan 6). sebagai penghubung waktu datang dan perginya fauna migrasi (Snedaker dan Snedaker, 1984).

Mangrove Segara Anakan merupakan ekosistem hutan bakau yang terluas di Pulau Jawa. Ekosistem ini terletak antara $108^{\circ}42'$ dan $109^{\circ}2'$ Bujur Timur dan $7^{\circ}30'$ dan $7^{\circ}44'$ Lintang Selatan (Djohan, 1986). Laguna Segara Anakan merupakan pertemuan muara sungai Donan, Citanduy, Cimeneng

(Cikonde), Cibereum, Palindukan, serta beberapa sungai kecil lain yang dilindungi Pulau Nusakambangan dari gelombang laut selatan. Segara Anakan merupakan suatu ekosistem rawa bakau dengan laguna yang unik dan langka di Pantai Selatan Pulau Jawa. Segara Anakan berada diantara pantai selatan Jawa dan Pulau Nusakambangan, dihubungkan dengan Samudera Hindia oleh dua buah selat (alur barat dan alur timur). Segara Anakan merupakan tempat muara beberapa sungai besar maupun kecil (Saputra, 2003; Moeljono, 1982 dalam Setyawan, 2003).

Ekosistem mangrove Segara Anakan berada di perbatasan Jawa Tengah dan Jawa Barat. Kondisi Segara Anakan telah lama mengalami perubahan, dasar dan tepian laguna ini terus terangkat oleh mekanisme tektonik pengangkatan disertai sedimentasi (Hirawan, 2003). Sedimentasi di laguna Segara Anakan terutama berasal dari sungai Citanduy, sungai Cibereum, dan Sungai Cikonde, serta sebagian kecil berasal dari sedimentasi pantai. Menurut DITJEN BANGDA dan PKSPL IPB (1999) jumlah bahan-bahan sedimentasi yang diangkut oleh sungai Citanduy dan sungai lainnya diperkirakan 5-10 juta m³ per tahun. Laju sedimentasi yang cepat mengakibatkan semakin berkurangnya luasan badan air Segara Anakan. Penurunan luasan badan air tersebut akan berpengaruh terhadap daya dukung dan keberadaan sumberdaya perikanan (Saputra, 2003). Pada tahun 1983 luas Segara Anakan 6.450 ha, dan pada tahun 2003 melalui pencitraan satelit luasnya tinggal 400 ha (Anonim, 2003).

Hutan mangrove mempunyai fungsi ganda yang tidak tergantikan oleh ekosistem lain. Secara fisik, mangrove berperan sebagai pelindung pantai dari hempasan ombak dan angin kencang, penahan abrasi, penampung air hujan sehingga mencegah banjir, dan menyerap limbah yang mencemari perairan.

Secara ekologis, mangrove berperan sebagai habitat berkembang biak dan mencari makan bagi biota perairan yang juga merupakan komponen ekosistemnya. Oleh sebab itu hilangnya salah satu komponen ekosistem dapat menghilangkan fungsi mangrove dan akhirnya mengalami degradasi. Degradasi dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain adalah pencemaran air. Ekosistem mangrove yang memiliki produktivitas tinggi menyediakan makanan berlimpah bagi jenis hewan laut dan menyediakan tempat berkembang biak, memijah, dan membesarkan anak beberapa jenis ikan, kerang, kepiting dan udang, sehingga secara tidak langsung kehidupan manusia tergantung pada keberadaan ekosistem mangrove (Utami dan Poedjirahajoe, 2000; Mastaller, 1996 dalam Anonim, 2001).

Sebagian besar ekosistem mangrove di Jawa telah mengalami degradasi. Hal ini pada umumnya disebabkan sedimentasi, penebangan hutan dan pencemaran lingkungan. Salah satu bentuk pencemaran kawasan mangrove dan pantai adalah logam berat, termasuk didalamnya adalah kadmium (Walsh, 1974, Lewis, 1990, Nybakken, 1993, Primavera, 1993, 2001, Suhendrayatna, 2001 dalam Setyawan, 2004).

Sungai Donan yang merupakan badan air dengan segala macam limbah industri dan limbah kota masuk ke dalamnya, merupakan batas daerah mangrove Segara Anakan di bagian Timur. Hal ini menyebabkan vegetasi mangrove sering terkena dampak kegiatan kilang dan industri (Hardjosuwarno dkk., 1983). Sumber pencemar di laguna Segara Anakan antara lain bersumber dari industri, pertanian, dan domestik. Limbah industri ini bersumber dari pabrik pertamina dan pabrik semen yang terdapat di sekitar Segara Anakan. Limbah pertanian berasal dari pestisida yang bersifat tidak dapat didegradasi

(*nonbiodegradable*), walaupun masih dalam kadar rendah. Pencemaran sampah domestik diperkirakan berasal dari sekitar 90% dari 3 juta penduduk yang tinggal di sekitar laguna dan DAS yang bermuara ke laguna, secara langsung maupun tidak langsung (Saputra, 2003).

5. Parameter Lingkungan

a. pH (Derajat Keasaman/konsentrasi Ion Hidrogen)

Derajat Keasaman (pH) menyatakan intensitas keasaman atau alkalinitas dari suatu cairan encer, dan mewakili konsentrasi hidrogen ionnya (Mahida, 1984). Air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan berkisar sekitar 6,5-7,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan, bentuk kimia nutrient, pengaturan respirasi dan enzimatis tubuh dan juga toksisitas logam berat. Kenaikkan pH pada badan perairan akan menyebabkan turunnya kelarutan logam berat sehingga logam berat cenderung mengendap dan daya larut logam menjadi rendah (Warlina, 2004; Fostner and Prosi, 1979).

Air yang bersifat asam menyebabkan turunnya produktivitas karena menurunnya kecepatan penguraian. Air yang bersifat basa memperlihatkan produktivitas yang tinggi (Michael, 1995). pH merupakan tolok ukur kritis untuk produktivitas biologis. pH untuk aktivitas biologis berkisar 6-8 (Tebbutt, 1997 dalam Wiryanto, 1997). Pengukuran pH merupakan sesuatu yang penting dan praktis, karena banyak reaksi-reaksi biokimia yang penting terjadi pada tingkat pH yang khusus (Mahida, 1984).

a. Suhu

Suhu air di Indonesia berkisar sekitar 28⁰C-31⁰C. Faktor-faktor yang mempengaruhi suhu adalah curah hujan, penguapan, kelembaban, suhu udara, kecepatan angin, dan intensitas radiasi matahari. Suhu di permukaan biasanya mengikuti pola musiman, yaitu musim pancaroba awal April-Mei dan musim pancaroba akhir November (Hontji, 1993).

Ukuran-ukuran suhu berguna dalam memperlihatkan kecenderungan aktivitas-aktivitas kimiawi, fisik dan biologis (Mahida, 1984). Kenaikkan suhu akan meningkatkan reaksi kimia dan metabolisme, laju penyerapan dan pelepasan logam berat oleh organisme, toksisitas logam berat, dan proses bioakumulasi logam berat dalam tubuh organisme (Odum, 1993).

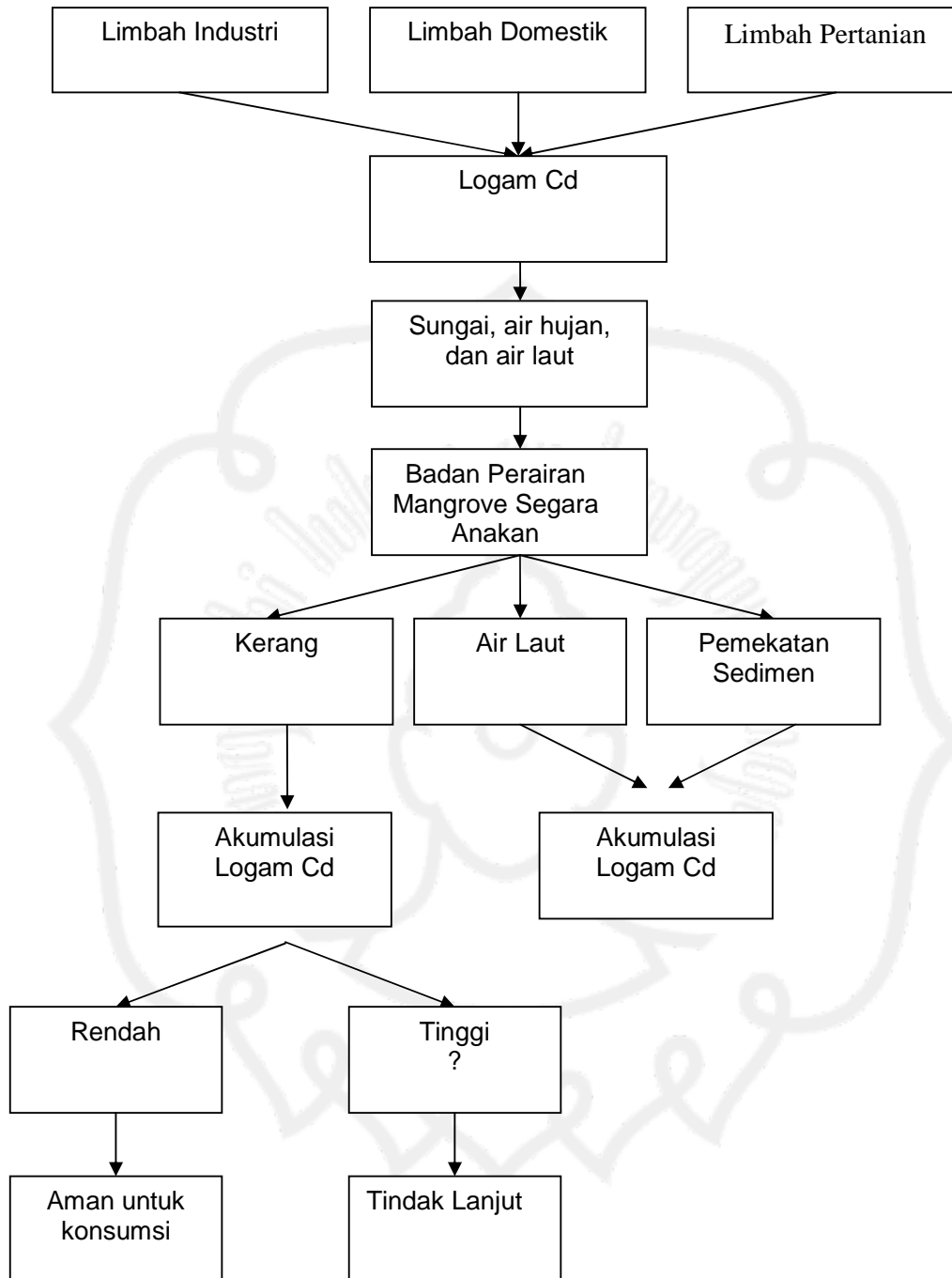
Suhu air di mangrove lebih bervariasi, karena:

- a. Volume air yang masuk mangrove lebih kecil sedangkan luas permukaan mangrove lebih besar, dengan demikian pada kondisi atmosfer yang ada air mangrove ini lebih cepat panas dan lebih cepat dingin.
- b. Air tawar yang masuk akan mempengaruhi perubahan suhu musiman. Di musim hujan suhu mangrove akan menjadi lebih rendah dari suhu air laut sekitarnya. Di musim kemarau, suhu mangrove akan menjadi lebih tinggi dari suhu air laut sekitarnya. Begitu pula apabila air tawar bertemu dengan air laut, maka akan terjadi perubahan suhu (Nybakken, 1992).

B. Kerangka Pemikiran

Sumber cemaran logam berat Cd dapat berasal dari limbah industri, rumah tangga, tumpahan minyak dari kapal-kapal tanker, pestisida, dan elektronik. Bahan-bahan pencemar tersebut diangkut oleh air hujan dan gerakan air dari laut dan perairan tawar menuju kawasan mangrove yang merupakan tempat bertemunya perairan laut dan perairan tawar. Logam Cd dalam perairan dipekatkan melalui proses biologi dan kimia-fisika. Bioakumulasi dan biomagnifikasi merupakan proses biologi yang mampu mengendapkan logam pada tubuh organisme. Pada proses kimia fisika, logam berat terlarut dan terendap pada sedimen dan dapat pula terabsorbi pada zat tersuspensi.

Analisis kadar logam Cd yang rendah (di bawah baku mutu) dalam daging kerang thothok (*Geloina erosa*) menunjukkan bahwa kerang tersebut masih aman untuk dikonsumsi masyarakat. Apabila diketahui kadar logam Cd yang telah melebihi baku mutu, maka perlu dilakukan tindak lanjut dalam mencegah gangguan yang disebabkan logam Cd. Bagan alir kerangka pemikiran ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bagan Alir Kerangka Pemikiran

C. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah:

1. Kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok (*Geloina erosa*), air, dan sedimen mangrove Mangrove di Segara Anakan tidak melebihi baku mutu yang ditentukan oleh POM Nomor 03725/B/VII/1989 untuk daging, Kep-02/MENKLH/1/88 Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut dan Kep. Gub. Jateng Nomor 660.1/26/1990 untuk air, dan Resau National D`Observatiin (RNO) 1988 untuk sedimen.
2. Kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok (*Geloina erosa*), air, dan sedimen mangrove di Segara Anakan (Muara Dua, Motean dan Dermaga Lomanis) tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok (homogen atau seragam).
3. Kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok (*Geloina erosa*), air, dan sedimen mangrove di Segara Anakan Cilacap dapat mempunyai hubungan yang searah atau terbalik terhadap parameter lingkungan (suhu dan pH).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juni-November 2005. Pengambilan sampel dilakukan dua kali, pada tanggal 25-26 Juni 2005 dan 1-2 Oktober 2005. Pengambilan sampel dan pengukuran parameter lingkungan dilakukan di kawasan mangrove Segara Anakan (Muara Dua dan Motean) dan Dermaga Lomanis Cilacap sebanyak dua kali ulangan. Masing-masing stasiun dilakukan 9 kali ulangan (3 kali di setiap substasiun). Preparasi dan analisis logam Cd dilakukan di Sub Lab Kimia Laboratorium Pusat MIPA UNS Surakarta.

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Pengukuran Parameter Lingkungan

Alat: pH meter dan termometer.

2. Pengambilan sampel daging kerang, air dan sedimen

Alat: Wadah plastik, *Eijkman dredge*, *Water sampling*, botol jam, botol film.

3. Preparasi Kerang, Air dan Sedimen

Alat : Timbangan analitik, cawan porselin, kertas saring Whatman 42, *hotplate*, erlenmeyer, tabung reaksi, rak tabung reaksi, gelas ukur 5 ml, 10 ml dan 50 ml, pengaduk, pipet volum, pipet tetes, gelas beaker 50 ml, kaca arloji, dan corong gelas.

Bahan : HNO₃ pekat, akuades, larutan standar Cd, dan asam perklorat (HClO₄).

4. Analisis kadar logam berat Cd pada daging kerang, air dan sedimen menggunakan seperangkat alat AAS (*Atomic Absorbance Spectrophotometer*)

C. Cara Kerja

1. Pengukuran Parameter Lingkungan

Pengukuran pH dan suhu

pH meter untuk mengetahui derajat keasaman air dan termometer untuk mengetahui suhu air. Pengukuran pH dan suhu dilakukan dengan pengambilan sampel air dalam botol jam, selanjutnya diukur saat itu juga dengan pH meter dan termometer.

2. Pengukuran bahan pencemar logam berat Kadmium merujuk pada: Tan 1996, Prawiwardoyo, dkk 1987, Hidayat 1978, APHA 1969 dalam Setyawan dkk. 2004; Inswiasri dkk., 1997; dan Darmono 1995.

a. Preparasi dan analisis Logam Kadmium pada Air Mangrove

Sampel air dipanaskan 50 ml sampel air yang ditambah dengan 5 ml pekat HNO_3 dan 50 ml akuades menggunakan *hot plate* di dalam lemari asam hingga volume tersisa 10 ml. Air yang tersisa setelah pemanasan disaring dengan kertas saring Whatman 42 dan diukur volumenya dan dilanjutkan penambahan akuades. Selanjutnya sampel dianalisis dengan AAS.

b. Preparasi dan analisis Logam Kadmium pada Sedimen Mangrove

Sedimen kering yang sudah dihomogenkan sebanyak 3 gram diletakkan dalam erlenmeyer ditambah 5 ml asam nitrat pekat dan 25 ml akuades dan diaduk hingga bercampur rata serta menambahkan 3 butir batu didih dan menutup dengan kaca arloji. Selanjutnya dipanaskan sampai volume

10 ml, diangkat dan didinginkan. Setelah menambahkan 5 ml asam nitrat pekat dan 1-3 ml asam perklorat pekat tetes demi tetes melalui dinding kaca erlenmeyer. Sampel selanjutnya dipanaskan kembali hingga timbul asap putih dan larutan menjadi jernih, setelah itu pemanasan dilanjutkan selama 30 menit. Langkah selanjutnya larutan disaring saringan Whatman 42, diukur filtrat dan dilakukan penambahan 50 ml akuades. Setelah itu dilakukan analisis dengan AAS.

c. Preparasi dan analisis Logam Kadmium pada Daging Kerang Thothok (*Geloina erosa*)

Sampel daging kerang Thothok dengan berat sekitar 2-4 gram dimasukkan dalam gelas erlenmeyer, lalu ditambahkan dengan asam nitrat pekat sebanyak 5 ml dan ditutup dengan gelas arloji. Kemudian dipanaskan dengan *hotplate* pada suhu 115°C sampai warnanya menjadi putih, lalu tutup dibuka supaya menguap dan kering. Sampel kering tersebut dilarutkan dalam HNO₃ pekat sebanyak 5-10 ml, ditambahkan 50 ml akuades dan disaring dengan kertas saring Whatman. Hasil penyaringan ditambah 50 ml akuades, selanjutnya diinjeksikan pada mesin AAS.

D. Teknik Pengumpulan Data

Daging kerang, air dan sedimen diambil di tiga stasiun yang didasarkan pada daerah yang jauh dari aktivitas penduduk yaitu mangrove Segara Anakan dan daerah yang dekat dengan aktivitas penduduk yaitu Dermaga Lomanis Cilacap. Tiga stasiun pengambilan sampel adalah: Motean, Muara Dua (keduanya di laguna Segara Anakan) dan dermaga Lomanis Cilacap. Masing-masing stasiun dibagi menjadi 3 substasiun. Pengambilan kerang dilakukan

melalui survei jelajah (*free-hand sampling*), sedangkan pengambilan air menggunakan *water sampling* dan sedimen dengan *Eijkman dredge*. Pengukuran dilakukan untuk kadar logam dan parameter lingkungan yang meliputi pH dan suhu.

Rancangan percobaan pada penelitian ini adalah rancangan blok random lengkap (RBRL). Pemblokian dilakukan untuk menunjukkan perlakuan yang berada dalam masing-masing blok atau stasiun (Muara Dua, Motean, dan Dermaga Lomanis) homogen. Percobaan ini dikatakan lengkap karena tidak ada data yang hilang. Pengambilan sampel dilakukan dua kali sebagai pengulangan. Pengulangan dilakukan untuk meningkatkan ketelitian data. Sampel penelitian diambil di tiga stasiun, masing-masing stasiun dibagi menjadi 3 substasiun, dan masing-masing substasiun diambil 3 kali ulangan, sehingga jumlah sampel yang diambil di masing-masing stasiun 27 sampel.

E. Analisis Data

Data hasil pengukuran kandungan logam berat kadmium dianalisis dengan tiga cara yaitu:

1. Data hasil pengukuran kandungan logam kadmium pada air dibandingkan dengan Baku Mutu Air untuk keperluan Biota (Golongan C) dan Rekreasi kecuali Renang bagi Propinsi Jateng Nomor: 660.1/26/1990; dan Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut Kep.02/MENKLH/1/1988. Hasil analisis logam berat Cd pada sedimen dibandingkan dengan baku mutu Resau National d`Observatiin (RNO) tahun 1988. Hasil analisis logam berat dalam daging kerang dibandingkan Keputusan Dirjen POM No. 03725/B/VII/1989 tentang

batas maksimal cemaran logam berat dalam ikan dan makanan olahan hasil laut.

2. Membandingkan secara empiris dengan data pengukuran dari penelitian terdahulu.
3. Secara statistik untuk mengetahui perbedaan kadar logam berat Cd di tiga stasiun dianalisis dengan menggunakan Analisis Variansi Searah (*One Way Anova*) dengan menggunakan program aplikasi komputer SPSS.
4. Untuk mengetahui hubungan antara kadar logam Cd dalam daging kerang, air, dan sedimen mangrove dengan parameter lingkungan digunakan analisis Korelasi Pearson dilanjutkan dengan Regresi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan pada bulan Juni-November 2005. Pengambilan sampel yang pertama dilakukan tanggal 25-26 Juni 2005 dengan kondisi perairan sedang pasang dan turun hujan. Curahan air hujan menyebabkan pengenceran pada air mangrove. Pengenceran akan menyebabkan penurunan kadar pencemaran di perairan. Pengambilan sampel kedua dilakukan tanggal 1-2 Oktober 2005; kondisi perairan sedang surut, air keruh, dan tidak turun hujan. Perairan yang keruh menyebabkan sulitnya cahaya matahari masuk ke dalam perairan.

Dari penelitian yang dilakukan diketahui bahwa jenis sedimen di stasiun Muara Dua dan Motean adalah pasir. Sedimen jenis pasir relatif banyak mengandung oksigen, karena mempunyai pori yang memungkinkan berlangsungnya percampuran yang lebih intensif dengan air di atasnya. Jenis sedimen pada stasiun dermaga Lomanis diketahui halus (liat dan lumpur). Pada jenis sedimen ini persediaan oksigen sangat terbatas. Dilihat dari kandungan bahan organiknya, sedimen jenis pasir mengandung bahan organik lebih rendah daripada sedimen jenis liat (Rafii dan Suyatna, 2003).

A. Kadar Logam Cd dalam Daging Kerang Thothok (*Geloina erosa*), Air, dan Sedimen Mangrove di Muara Dua, Motean, dan Dermaga Lomanis

Tabel 2. Perbandingan Rata-rata Hasil Pengukuran Kadar Logam Cd dalam Daging Kerang Thothok (*Geloina erosa*), Air, dan Sedimen Mangrove di Muara Dua, Motean, dan Dermaga Lomanis dengan Baku Mutu Kadar Logam Cd

Komponen	Rata-rata	Baku Mutu
Cd Daging	0,05 mg/kg	1,0 ¹ mg/kg
Cd Air	0,04 ppm	0-0,01 ² ppm
Cd Sedimen	0,12 mg/kg	0,1-2,0 ³ mg/kg

¹ Keputusan Dirjen POM Nomor 03725/B/VII/1989, Depkes RI untuk ikan dan olahannya

² Kep-02/MENKLH/1/88 BM Air Laut untuk Biota Laut dan Kep. Gub. Jateng Nomor 660.1/26/1990

³ Resau National D`Observatiin (RNO) 1988

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata hasil pengukuran kadar logam Cd dalam daging *Geloina erosa* adalah 0,05 mg/kg. Angka tersebut memenuhi Baku Mutu yang ditetapkan Keputusan Dirjen POM Nomor 03725/B/VII/1989, yaitu 1,0 mg/kg. Hal ini berarti kadar logam Cd dalam daging kerang dalam batas normal dan masih aman untuk dikonsumsi. Untuk masyarakat yang sering mengonsumsi kerang Thothok belum ada dampak yang membahayakan kesehatan akibat keracunan logam Cd. Kadar logam Cd dalam kerang Thothok yang masih di bawah baku mutu disebabkan belum tercemarnya tempat tinggal kerang oleh logam Cd sehingga akumulasi logam dalam jaringan kerang belum tinggi. Selain itu rendahnya kadar logam Cd dalam daging kerang dimungkinkan karena 1) umur kerang Thothok yang terambil masih muda, 2) kerang yang terambil merupakan kerang yang baru berpindah tempat, dan belum lama menetap di daerah tersebut, sehingga akumulasi logam dalam jaringan tubuhnya belum tinggi.

Logam berat yang terakumulasi oleh kerang bersumber dari air yang masuk tubuhnya, sedimen, dan plankton yang merupakan makanan kerang. Sebagian besar logam berat yang terakumulasi dalam tubuh organisme masuk melalui rantai makanan dan sedikit yang masuk melalui air. Unsur logam berat masuk ke dalam tubuh organisme melalui tiga cara, yaitu rantai makanan, insang, difusi dan kemudian diikat oleh protein pada sel target (Waldichuk, 1974).

Rata-rata hasil pengukuran kadar logam Cd pada air di tiga stasiun adalah 0,04 ppm. Kadar logam Cd tersebut berada diatas Baku Mutu maksimal yang ditetapkan Kep-02/MENKLH/1/88 Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut dan Kep. Gub. Jateng Nomor 660.1/26/1990, yaitu 0,01 ppm. Angka 0,04 ppm ini menunjukkan bahwa kadar logam Cd dalam air sudah melebihi ambang batas, hal ini disebabkan masuknya limbah yang mengandung Cd cukup banyak sehingga mencemari badan perairan. Segara Anakan merupakan kawasan yang mendapat masukan air tawar dari banyak sungai, antara lain; Citanduy, Cibereum, Donan, dan Cimeneng. Donan merupakan sungai yang paling banyak menyumbang zat tercemar karena aliran air sungai Donan bercampur dengan limbah-limbah industri di Cilacap. Limbah tersebut berasal dari pabrik Semen Nusantara, kilang minyak Pertamina, pupuk pertanian, dan aktivitas manusia yang berhubungan dengan logam Cd. Sumber logam Cd di Segara Anakan juga banyak didapat dari pelapukan batu yang disebabkan curah hujan dan pembusukan bahan organik. Kadar logam Cd dalam sedimen adalah 0,12 mg/kg. Kadar logam Cd dalam sedimen masih dalam standart Baku Mutu Resau National D'Observatiin (RNO) 1988, yaitu 0,1-2,0 mg/kg, hal ini disebabkan sebagian logam berat dalam sedimen dapat mengalami perubahan ke dalam

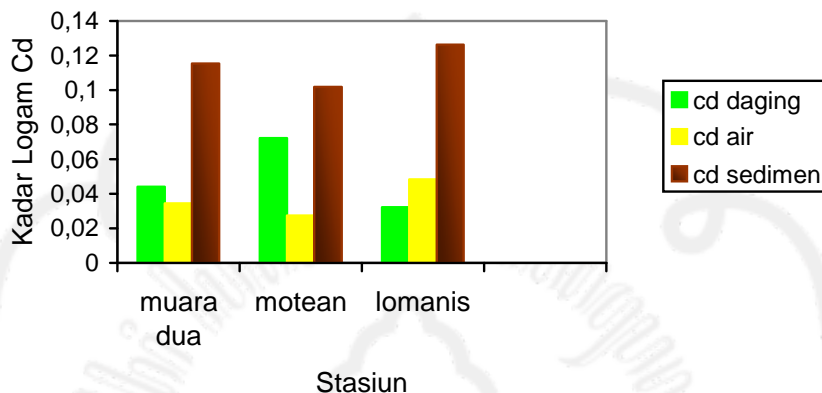
bentuk larutan baik melalui presipitasi sebagai oksida atau karbonat maupun melalui pembentukan campuran padat dengan logam lain (Kim *et al.*, 1998).

Ekosistem mangrove merupakan barier biogeokimia terhadap bahan pencemar logam berat dalam sedimen. Tumbuhan mangrove merupakan pengeliminasi pencemaran logam berat. Peran ini pada tumbuhan dikenal sebagai fitoremediasi. Logam berat dieliminasi dengan beberapa cara, seperti 1) fitostabilisasi; tumbuhan menstabilkan limbah dalam tanah; 2) fitostimulasi: akar tanaman menstimulasi penghancuran limbah dengan bantuan bakteri rhizosfer; 3) fitodegradasi: tanaman mendegradasi limbah; 4) fitoekstraksi: jaringan tanaman, terutama daun mengakumulasi limbah; 5) fitovolatasi: limbah diubah menjadi senyawa yang mudah menguap; serta 6) rhizofiltrasi: akar menyerap limbah dari air. Tumbuhan mangrove dapat menyerap logam berat dan menyimpannya dalam jaringan tubuh seperti daun, batang, dan akar, sehingga dapat mengurangi tingkat pencemaran di air dan sedimen. Di samping itu, sistem perakaran tumbuhan mangrove yang besar dan luas dapat menahan dan memantapkan sedimen tanah, sehingga mencegah tersebarnya bahan pencemar ke area yang lebih luas (Kompas, 31/08/2004; Lacerda dkk, 1993 dalam Setyawan dkk, 2004).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kadar Cd sedimen lebih besar daripada kadar Cd dalam daging dan air. Logam berat cenderung terakumulasi pada sedimen yang merupakan komponen di dasar perairan. Limbah di udara akan terdisposisi dari atmosfer, bersama dengan limbah cair dan padat akan terangkut oleh air hujan, sungai, dan laut menuju lingkungan mangrove dan pantai serta mengendap dan terakumulasi pada sedimen tanah. Sedimen merupakan salah satu indikator yang dapat digunakan untuk memantau logam

berat dalam perairan laut dan sebagai terminal terakhir tempat terakumulasinya semua pencemaran logam berat yang masuk perairan (Fostner *et al.*, 1983).

B. Perbedaan Kadar Logam Cd dalam Daging Kerang Thothok (*Geloina erosa*), Air, dan Sedimen di Muara Dua, Motean, dan Dermaga Lomanis



Gambar 6. Histogram Perbedaan Kadar Logam Cd di Muara Dua, Motean, dan Dermaga Lomanis

Tabel 3. Rata-Rata Kadar Logam Cd dalam Daging Kerang Thothok (*Geloina erosa*) di Muara Dua, Motean, dan Dermaga Lomanis

Stasiun	Rata-rata Cd Daging (mg/kg)
Muara Dua	0,0439
Motean	0,0722
Dermaga Lomanis	0,0322

Rata-rata kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok tertinggi terdapat di Motean, yaitu 0,0722 mg/kg. Motean merupakan salah satu daerah di laguna Segara Anakan yang ramai dihuni penduduk. Penduduk Motean dan sekitarnya sering mengonsumsi kerang Thothok. Kadar logam Cd dalam daging kerang ini perlu diwaspadai, karena logam Cd tetap berbahaya walaupun dalam jumlah yang kecil. Nilai probabilitas Levene Tes adalah 4,724 ($p > 0,05$), hal ini

menunjukkan bahwa distribusi logam Cd dalam daging di Muara Dua, Motean, dan Lomanis tidak berbeda nyata atau seragam.

Tabel 4. Rata-Rata Kadar Logam Cd Air di Muara Dua, Motean, dan Dermaga Lomanis

Stasiun	Rata-rata Cd air (ppm)
Muara Dua	0,0272
Motean	0,0344
Dermaga Lomanis	0,0483

Kadar logam Cd air di Lomanis lebih tinggi dari kadar Cd Muara Dua dan Motean, yaitu 0,0483 ppm. Tes Levene menunjukkan nilai probabilitas 0,550. Nilai ini sama dengan nilai alfa ($p \geq 0,05$), maka kadar logam Cd di tiga stasiun sebagian mempunyai beda nyata dan sebagian seragam. Dari analisis statistik diketahui bahwa kadar logam Cd air di Muara Dua dan Motean tampak seragam atau tidak ada perbedaan nyata, sedangkan kadar logam Cd di Lomanis dengan Muara Dua dan Motean tampak beda nyatanya.

Tingginya kadar logam Cd air di Lomanis karena wilayah tersebut relatif lebih dekat dengan aktivitas manusia baik domestik maupun industri, sedangkan Muara Dua dan Motean relatif lebih jauh dari aktivitas perindustrian. Lomanis merupakan dermaga penyebrangan yang sering dilalui kapal sebagai alat transportasi yang secara tidak langsung sebagai sumber logam Cd. Selain itu Lomanis sangat dekat dengan pabrik kilang minyak dan pabrik semen yang dapat menghasilkan limbah logam berat Cd. Hasil penelitian kadar logam Cd di Lomanis oleh Pagoray (2001) adalah 0,0370 ppm. Dari data ini dapat dinyatakan bahwa kadar logam Cd air di Lomanis mengalami peningkatan. Peningkatan

kadar ini sangat memungkinkan karena aktivitas di sekitar Lomanis semakin meningkat dari tahun ke tahun.

Tabel 5. Rata-rata Hasil Pengukuran Kadar Logam Cd Sedimen di Muara dua, Motean, dan Dermaga Lomanis

Stasiun	Rata-rata Cd air (mg/kg)
Muara Dua	0,1194
Motean	0,1017
Dermaga Lomanis	0,1283

Kadar logam Cd di sedimen rata-rata mempunyai nilai yang hampir sama di tiga stasiun. Perbedaan kadar logam Cd di sedimen tidak tampak nyata (nilai probabilitas Levene $7,933 > 0,05$). Sedimen Lomanis memiliki kadar logam Cd lebih tinggi sedikit dari sedimen Muara Dua dan Motean. Lomanis terletak lebih dekat dengan aktivitas manusia dan industri (pabrik semen dan kilang minyak Pertamina).

Hasil penelitian menunjukkan kadar logam Cd sedimen di Muara Dua dan Motean adalah 0,1194 mg/kg dan 0,1017 mg/kg. Setyawan dkk. (2004) menyebutkan bahwa kadar logam Cd di Muara Dua adalah 0,0976 mg/kg dan Motean 0,1223 mg/kg. Dari data itu dapat dibandingkan bahwa kadar logam Cd di Muara Dua mengalami peningkatan dan kadar logam Cd sedimen Motean mengalami penurunan. Peningkatan kadar logam Cd sedimen Muara Dua dikarenakan akumulasi logam Cd dalam sedimen semakin tinggi dengan bertambahnya waktu akumulasi. Sedangkan penurunan kadar logam Cd sedimen di Motean dapat diasumsikan bahwa pengambilan sampel penelitian di substasiun yang tidak sama (acak/random), sehingga hasil yang didapat juga tidak sama. Selain itu, curah hujan yang mengalami peningkatan akan menyebabkan pengenceran perairan, sekaligus akan mempengaruhi

pengangkutan jumlah sedimen yang masuk ke mangrove. Sedimentasi tingkat tinggi menyebabkan akresi daratan, sehingga dapat diasumsikan bahwa penelitian tempat penelitian terdahulu dengan sekarang mengalami perubahan karena penambahan daratan.

C. Hubungan Antara Kadar Logam Cd dalam Daging Kerang Thothok (*Geloina erosa*), Air, dan Sedimen dengan Parameter Lingkungan

Tabel 6. Rata-rata Hasil Pengukuran Suhu dan pH di Muara Dua, Motean dan Dermaga Lomanis

Stasiun	Rata-rata Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Rata-rata pH
Muara Dua	31,6	7,63
Motean	30,6	7,45
Lomanis	30,3	7,89

Suhu di tiga stasiun berkisar antara 30,3-31,6 $^{\circ}\text{C}$. Suhu rata-rata 30,8 $^{\circ}\text{C}$ masih sesuai untuk peruntukkan hidup biota akuatik. Menurut PP Nomor 20 Tahun 1990 batas maksimum suhu perairan normal adalah 31 $^{\circ}\text{C}$ (Infolab, 2004). Suhu merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam mengatur proses metabolisme dan penyebaran organisme terestrial dan akuatik. Umumnya organisme akuatik mampu beradaptasi terhadap perubahan suhu mendadak. Suhu rata-rata di Muara Dua lebih tinggi disebabkan perairan yang dangkal akan lebih cepat menerima pemanasan. Suhu yang rendah disebabkan limpasan air sungai yang lebih dingin.

Menurut KepMenKLH Nomor Kep02/MENKLH/I/1988 nilai maksimal pH air yang diperbolehkan dalam baku mutu air pada sumber air yaitu 6-9. Sedangkan menurut Odum (1993) pH air normal yang memenuhi syarat untuk perairan 6,5-7,5. Hasil pengukuran pH di tiga stasiun menunjukkan bahwa pH tersebut masih berada dalam batas normal pH perairan. pH merupakan faktor

penentu asam basanya perairan. Penurunan pH akan memberikan pengaruh umum terhadap keanekaragaman plankton, penurunan kelimpahan total, dan biomassa.

Tabel 7. Hubungan Antara Kadar Logam Cd dalam Kerang Thothok (*Geloina erosa*), Air, dan Sedimen Mangrove dengan Parameter Lingkungan (Suhu dan pH)

	Cd Daging	Cd Air	Cd Sedimen
Suhu Signifikansi	+0,193 0,163	-0,038 0,786	-0,174 0,209
pH Signifikansi	-0,070 0,617	-0,125 0,366	+0,669* 0,000

*Korelasi signifikan dengan $p = 0,01$ (dua sisi)

Dari Tabel 9 diketahui bahwa korelasi suhu dengan kadar logam Cd dalam daging kerang thothok adalah +0,193. Angka positif menandakan adanya korelasi yang searah antara suhu dan kadar logam Cd dalam daging. Kenaikkan suhu menyebabkan peningkatan akumulasi logam Cd dalam jaringan. Suhu mempengaruhi reaksi kimia, metabolisme, pelepasan logam berat oleh organisme, dan meningkatkan proses bioakumulasi logam dalam tubuh organisme (Odum, 1993). Hubungan antara suhu dengan kadar logam Cd di air menunjukkan hubungan tidak searah sebesar -0,038, begitu juga hubungan suhu dengan kadar logam Cd di sedimen (-0,174). Tanda negatif menunjukkan bahwa peningkatan suhu akan menyebabkan penurunan kadar logam sebesar 0,038 dan 0,174, begitu pula sebaliknya. Sebenarnya ada hubungan antara suhu dan kadar logam Cd pada air dan sedimen yaitu 0,038 dan 0,174, namun karena kecil sehingga bisa diabaikan. Kenaikan dan penurunan suhu tidak mempengaruhi tinggi rendahnya kadar logam Cd di air maupun kadar logam Cd di sedimen.

Korelasi pH dengan kadar logam Cd dalam daging kerang dan air menunjukkan hubungan yang tidak searah. Nilai negatif pada korelasi pH dengan kadar logam Cd dalam daging kerang dan air mempunyai arti bahwa kenaikan pH dengan angka tersebut menyebabkan turunnya kadar logam Cd dengan nilai yang sama dengan kenaikan. Nilai suhu yang sangat kecil tersebut dapat dikatakan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar logam Cd, sehingga dapat diabaikan. Kadar logam Cd di sedimen dengan pH mempunyai nilai korelasi searah sebesar +0,669. Kenaikan pH senilai 0,669 menyebabkan naiknya kadar logam Cd sebesar 0,669. Hubungan pH dan kadar logam pada sedimen dapat dikatakan signifikan ($p < 0,01$). Kenaikan pH akan menyebabkan turunnya kelarutan logam sehingga logam berat akan cenderung mengendap. pH yang tinggi menyebabkan toksisitas logam mengalami peningkatan (Fostner *et al.*, 1983).

D. Analisis Regresi Kadar Logam Cd dalam Daging Kerang Thothok (*Geloina erosa*) dan Faktor- Faktor yang Mempengaruhinya (Kadar Cd dalam Air, Kadar Cd dalam sedimen, suhu, dan pH).

Masyarakat memanfaatkan kerang Thothok untuk konsumsi. Kerang yang hidup di perairan yang tercemar logam kemungkinan besar juga ikut tercemar logam. Logam Cd terakumulasi dalam jaringan kerang. Dalam penelitian ini besarnya kadar logam Cd dalam daging dapat dipengaruhi oleh kadar logam Cd dalam perairan, sedimen, suhu, dan pH. Kerang mengambil makanannya dari perairan (*filter feeder*). Keadaan ini menyebabkan kadar logam Cd di air secara tidak langsung masuk ke jaringan tubuh kerang. Kerang hidup dan menetap di dasar perairan (*sessil*). Sedimen merupakan komponen utama dasar perairan,

sehingga kadar logam Cd yang terdapat dalam sedimen secara tidak langsung ikut mempengaruhi kadar logam dalam daging kerang.

Suhu dan pH merupakan parameter lingkungan yang memberikan pengaruh terhadap kadar logam. Menurut Odum (1993) peningkatan suhu menyebabkan laju penyerapan dan proses bioakumulasi logam berat dalam tubuh organisme juga meningkat. Kenaikan pH akan menyebabkan turunnya kelarutan logam berat sehingga logam cenderung mengendap.

Besarnya R (koefisien korelasi) 0,259 menunjukkan bahwa korelasi antara kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok dengan empat variabel independennya (kadar Cd air, kadar Cd sedimen, suhu, dan pH) adalah tidak kuat. Asumsi tidak kuat, karena R berada di bawah 0,5. Lemahnya korelasi kadar logam Cd dalam daging kerang dengan variabel independennya dimungkinkan karena kerang yang diambil sebagai sampel merupakan kerang yang baru menetap di tempat tersebut, sehingga kondisi lingkungan sekitar belum memberikan pengaruh yang signifikan. Adjusted R square mempunyai nilai sebesar -0,009. Hal ini menunjukkan bahwa hanya 0,9 % saja empat variabel independen mempengaruhi kadar logam Cd dalam daging kerang thothok, sedangkan 99,9% dipengaruhi oleh faktor lain.

Dari uji ANOVA, didapat F hitung adalah 0,879 dengan signifikansi 0,483. Hal ini menunjukkan pengaruh variabel independen secara keseluruhan tidak signifikan. Dari kolom Standart Error (SE) dapat diketahui bahwa nilai SE pH adalah 0,10 (nilai SE yang paling kecil). Hal ini berarti, pH merupakan variabel yang paling mempengaruhi kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok.

Tabel 8. Persamaan Regresi Antara Kadar Cd dalam Daging Kerang Thothok dengan Kadar Cd Air, Kadar Cd Sedimen, Suhu, dan pH

Faktor (Y,X)	Persamaan Regresi
Kadar Cd Daging dan Kadar Cd Air	$Y=-0,129-0,319X_1$
Kadar Cd Daging dan Kadar Cd Sedimen	$Y=-0,129+0,110X_2$
Kadar Cd Daging dan Suhu	$Y=-0,129+1,370X_3$
Kadar Cd Daging dan pH	$Y=-0,129-2,02X_4$

Hipotesis yang digunakan adalah:

H_0 = Koefisien regresi tidak signifikan

H_1 = Koefisien regresi signifikan

Dari persamaan regresi diatas dapat dijelaskan:

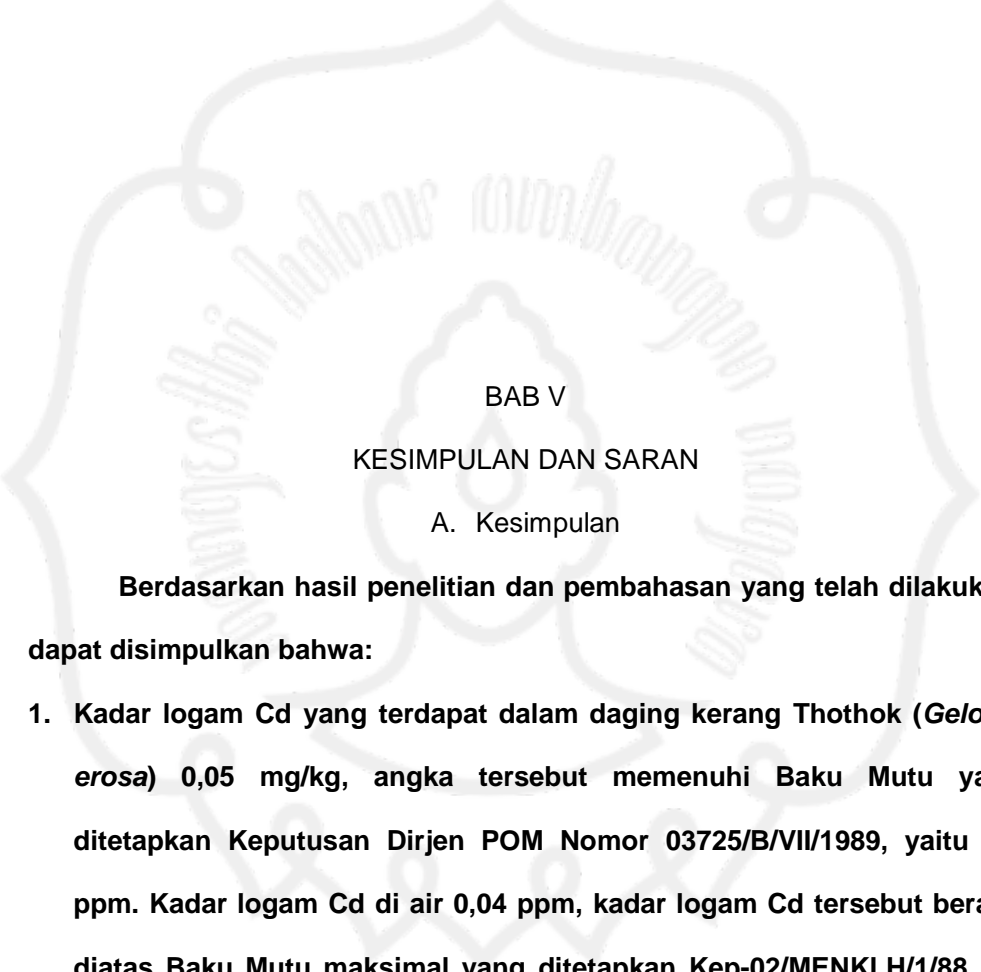
- Konstanta sebesar 0,219 menyatakan bahwa jika tidak ada pengaruh dari kadar logam Cd dalam air, kadar logam Cd dalam sedimen, suhu, dan pH, maka besar kadar logam Cd dalam daging sebesar 0,219 mg/kg.
- Koefisien regresi untuk X_1 sebesar -0,319 menyatakan bahwa setiap penurunan (karena tanda -) nilai score 1 untuk kadar logam Cd dalam air, dengan tidak ada nilai kadar logam Cd sedimen, suhu, dan pH maka kadar logam Cd dalam daging kerang thothok sebesar 0,597 mg/kg.
- Koefisien regresi untuk X_2 +0,110 menyatakan bahwa setiap peningkatan (karena tanda +) nilai score 1 untuk kadar logam Cd dalam sedimen, dengan tidak ada nilai kadar logam Cd air, suhu, dan pH maka kadar logam Cd dalam daging 0,012 mg/kg.
- Koefisien regresi untuk X_3 +1,370 menyatakan bahwa setiap peningkatan (karena tanda +) nilai score 1 untuk suhu, dengan tidak ada nilai score kadar

logam Cd air, kadar logam Cd sedimen, dan pH maka kadar logam Cd dalam daging sebesar 0,2 mg/kg.

- e. Koefisien regresi untuk X_4 -2,02 menyatakan bahwa setiap penurunan (karena tanda -) nilai score 1 untuk pH, dengan tidak ada nilai score kadar logam Cd air, kadar logam Cd sedimen, dan suhu maka kadar logam Cd dalam daging 6, 498 mg/kg.

Dari kolom signifikan menunjukkan variabel kadar Cd dalam air memiliki angka signifikansi 0,435, kadar Cd dalam sedimen 0,494, suhu 0,163, dan pH 0,402. Angka signifikansi tersebut menunjukkan bahwa keempat variabel tersebut tidak mempengaruhi kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok ($p > 0,05$). Dari koefisien regresi diatas probabilitas $> 0,05$, maka H_0 diterima (koefisien regresi tidak signifikan). Hal ini berarti bahwa model regresi diatas tidak memenuhi untuk prediksi kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok.





BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kadar logam Cd yang terdapat dalam daging kerang Thothok (*Geloina erosa*) 0,05 mg/kg, angka tersebut memenuhi Baku Mutu yang ditetapkan Keputusan Dirjen POM Nomor 03725/B/VII/1989, yaitu 1,0 ppm. Kadar logam Cd di air 0,04 ppm, kadar logam Cd tersebut berada diatas Baku Mutu maksimal yang ditetapkan Kep-02/MENKLH/1/88 BM Air Laut untuk Biota Laut dan Kep. Gub. Jateng Nomor 660.1/26/1990, yaitu 0,01 ppm. Kadar logam Cd dalam sedimen adalah 0,12 mg/kg. Kadar logam Cd dalam sedimen masih dalam standart Baku Mutu Resau National D`Observatiin (RNO) 1988, yaitu 0,1-2,0 ppm.

2. Secara statistik perbedaan kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok (*Geloina erosa*) dan sedimen di Muara Dua, Motean, dan Dermaga Lomanis tidak menunjukkan beda yang nyata. Perbedaan kadar logam Cd dalam air di tiga stasiun (Muara Dua, Motean, dan Dermaga Lomanis) menunjukkan beda nyata $\{p(0,02)<0,05\}$.
3. Suhu mempengaruhi kadar logam pada daging kerang Thothok. Suhu memberikan pengaruh yang kecil terhadap kadar logam Cd dalam air dan sedimen. pH memberikan pengaruh yang kecil terhadap kadar logam Cd dalam daging kerang Thothok dan air. pH mempengaruhi kadar logam dalam sedimen.

B. Saran

Dari kesimpulan diatas, saran yang dapat disampaikan adalah:

1. Pemilik atau pengusaha pabrik-pabrik (industri-industri) di sekitar mangrove Segara Anakan Cilacap perlu memperhatikan pengolahan limbah yang dihasilkan pabrik tersebut agar tidak mencemari lingkungan sekitar.
2. Instansi pemerintahan (pengelola) mangrove Segara Anakan Cilacap perlu melakukan penjagaan kualitas perairan mangrove dari pencemaran air, terutama dari logam berat yang merupakan zat pencemar berbahaya bagi kesehatan manusia.
3. Kepala desa dan masyarakat sekitar mangrove Segara Anakan Cilacap perlu ikut berpartisipasi menjaga kualitas perairan mangrove di sekitar tempat tinggal dari segala pencemaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Abel, P. D. 1996. *Water Pollution*. Second Edition. Taylor and Francis. UK London.
- Adriano, D. C. 1986. *Trace Element in the Terrestrial Environment*. Springer. New York.
- Alloway, B. J. and Ayres, D. C. 1997. *Chemical Principles of Environment Pollution. Second Edition*. Blackie Academic and Professional. Proceedings of the Course Held at the Joint Research Centre of the Commission of European Communities. 1978. Ispra Pergamon Press. Oxford New York.
- Anonim. 2001. "Mangrove Jenis Api-Api (*Avicennia marina*) Alternatif Pengendalian Pencemaran Logam Pesisir". *Lembaga Kajian dan Konservasi Lahan Basah*. (2 Desember 2001)
- Anonim. 2003. "Kerang sebagai Biofilter Logam Berat". *Artikel Aspirasi*. (2 September 2003).

- Asiah, Wardhani, N. T., Suoth, A. E., Rohmah, S., Florita, D., Indahyani, M. T., Purwanti, U., Khaerudin, H., dan Jauhari. 2000. "Pengkajian Karakteristik Pencemar Air Laut sebagai Upaya Pengendalian Pencemaran di Daerah Pesisir Pantai dan Pelabuhan". <http://www.ingentaconnect.com>. (20 April 2005)
- ATSDR. 1999. "Agency for Toxic Substances and Disease Registry". <http://www.atsdr.Cdv.Gov>. (13 Maret 2006)
- Barnest. R. D. 1986. *Invertebrata Zoology*. Fifth Edition. CBS College Publishing.
- Bellinger, D., Bolger, M., Goyer, M., Barraj, L., and Baines, J. 1992. "WHO Food Additive Series 46: "Cadmium". <http://www.inchem.org/document/jecfa/jecmono/v46jell.htm> (13 Maret 2006)
- Bilos, C. J. C. Colombo, C. N. Skorupks, and Roddriguez Presa, M. J. 2001. "Sources, Distribution, and Variability of Airbone Trace Metals in La Plata City Area, Argentina". *Environmental Pollution* 111: 149-158
- Bustamante, P., Caurant, F., Fowler, S. W., and Miramand, P. 1998. "Cephalopods as a Vector for Transfer of Cadmium to Top Marine Predators in the North-East Atlantic Ocean". *The Science of the Total Environment* 220: 71-80
- Connel, D. W. 1995. *Bioakumulasi Senyawaan Xenobiotik*. (Diterjemahkan oleh Yanti R. H. Koestoer). UI Press. Jakarta.
- Dahuri, R., Rais, J., Ginting, S. P. dan Sitepu, M. J. 1996. *Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Penerbit UI Press. Jakarta.
- Depdiknas. 1983. *Laporan Analisis Dampak Lingkungan Perluasan Kilang Minyak Cilacap (ANDAL P.P. K. C.)* Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Departemen Kehutanan. 1997. "Strategi Nasional Pengelolaan Mangrove di Indonesia. Jilid 1 Mangrove Indonesia Status Sekarang". Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Djohan, T. S. 1986. "Suksesi Vegetasi dan Fauna Lantai Hutan Bakau di Muara Dua, Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah". Lembaga Penelitian UGM. Yogyakarta.
- Dwiono, S. A. P. 2003. "Pengenalan Kerang Mangrove, *Geloina erosa* dan *Geloina expansa*". *Oseana* 28 (2): 31-38

- Fostner, U. and Prosi F. 1979. *Heavy Metal Pollution in Freshwater Ecosystem. Biological Aspect of Freshwater Pollution*. Pergamen Press. New York
- Fostner, U., Edward, D. G., Prosi, F., and Whittmann G. T. W. 1983. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Second Edition. Springer Verlag Heidelberg. New York.
- Goksu, M. Z. L., Akar, M., Cevik F., and Findik O. 2005. "Bioaccumulation of Some Heavy Metals (Cd, Fe, Zn, Cu) in Two Bivalvia Species". *Turk J Vet Animal Sci*. 29 (2005): 89-93
- Haas, E. M. 1984. Cadmium. *Staying Healthy with Nutrition: The Complete Guide to Diet and Nutritional Nutrition Center*. San Rafael <http://www.healthy.net>. (13 Maret 2006)
- Hamidah. 1986. "Pengaruh Logam Berat Terhadap Lingkungan". Lembaga Oseonologi Nasional LIPI. Jakarta.
- Hardjosuwarno, S., Subagyo, J., Sukahar, A., Pudjoarinto A., dan Suwarno, 1983." Laporan Analisis Dampak Lingkungan Perluasan Kilang Minyak (ANDAI P. P. K. C.)". Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Hirnawan, H. R. F. 2003. "Selamatkan Segara Anakan dengan atau tanpa Sodetan". *Kompas*. (3 Juni 2003)
- Hontji, Anugerah. 1993. *Laut Nusantara*. Penerbit Djambatan. Jakarta.
- Infolab. 2004. "Kendali, Pantau, Komunikasi, Laboratorium Indonesia". Juli-Agustus/Th.V/2004. ISSN: 1410-9417.
- Inswari, Tugaswati, T. A., dan Lubis, A. 1997. "Kadar Logam Cu, Pb, Cd, dan Cr dalam Ikan Segar dan Kerang dari Teluk Jakarta Th 1995/1996". *Buletin Penelitian Kesehatan*. 24 (1): 19-26
- Jones, G. B., Mercurio, P. and Oliver, F. 2000. " Zinc in Fish, Crabs, Oyster, and Mangrove Flora and Fauna from Cleveland Bay". *Marine Pollution Bulletin* 41 (7-12): 345-352
- Kartijono, E. 2004. "Suksesi Sekunder pada Bahan Tambak Telantar di Kawasan Hutan Mangrove Segara Anakan Jawa Tengah". Jurusan Biologi FMIPA UNAIR. Surabaya.
- Kim, K. W., Myung, J. H., Ahn, J. S. and Chon, H. T. 1998. "Heavy Metal Contamination in Dust and Stream in Taejin Area, Korea". *Journal of Geochemical Exploration* 64: 409-419.
- Korniushin and Glaubrecht. 2003. "Novel Reproductiva Modes in Freshwater Clams: Brooding and Larval Morphologi in Southeast

Asian Taxa of Corbicula (Mollusca, Bivalvia, Corbiculidae)". *Acta Zoologica* 84 (4): 293-315

Lasut, M. T. 2001. "Penurunan Kualitas Lingkungan Akibat Aktivitas Tambang". *Jurnal RCT*. (25 Juni 2001)

Lasut, M. T., Kaligis F. G., dan Watung, A. H. 2001. "Pengaruh Konsentrasi Sublethal Pestisida (Diazon dan Glifosat) terhadap Konsumsi Oksigen Kerang Laut *Septifer ilocularis* (Bivalvia)". *Ekoton* 1 (2): 49-57

Lesson, C. R. dan Paparo, L. L. 1997. *Buku Ajar Histologi*. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.

Lu, F. C. 1995. *Toksikologi Dasar (Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Risiko*. Edisi Kedua. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

Mahida, U. N. 1984. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. CV Rajawali. Jakarta.

Marganof. 2003. "Potensi Limbah Udang sebagai Penyerap Logam Berat Kadmium di Perairan". IPB. Bogor.

Mason, C. F. 1991. *Biology of Freshwater Pollution*. Longman Scientific and Technical. New York.

Michael, P. 1995. *Metode Ekologi untuk Penyelidikan Laporan dan Laboratorium* (Alih Bahasa: Yanti R. Koestoer). Cetakan II. UI Press. Jakarta.

Nybakken, James W. 1992. *Biologi Laut suatu Pendekatan Ekologis*. PT Gramedia. Jakarta.

Odum, E. P. 1993. *Dasar-dasar Ekologi*. (Alih Bahasa: T. Samingan). Edisi Ketiga. UGM Press. Yogyakarta.

Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Penerbit Rineka Citra. Jakarta.

Pagoray, H. 2001. "Kandungan Merkuri dan Kadmium Sepanjang Kali Donan Kawasan Industri Cilacap". *Frontir* Nomor 33. (Maret 2001)

Petrucci., R. H. 1987. *Kimia Dasar (Prinsip dan Terapan Modern*. (Alih Bahasa Achmadi Suminar). Edisi Keempat Jilid 3. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Pinto, E., Sigaud-Kutner, T. C. S., Leitao, M. A. S., Okomoto, O. K., Morse, D. and Colepicolo, P. 2003. "Review: Heavy Metal-Induced Oxidative Stress in Algae". *Journal of Phycology* 39: 1008-1018

- Polii, B. W. Waworuntu, Kumurur, V. A., Lasut, M. T., dan Simanjutak, H. 2001." Status Pencemaran Logam dan Sianida di Perairan Teluk Buyat dan Sekitarnya, Propinsi Sulawesi Utara Tahun 1999". *Ekoton* 2 (1): 15-23
- Rafii, A. dan Suyatna, I. 2003. "Variasi Nilai Redoks Potensial dalam Lapisan Sedimen sebagai Indikator Stabilitas Lingkungan Perairan di Wilayah Pesisir Muara Badak Kabupaten Kutai Kartanegara". *Mahakam* II (2): 51-70
- Saputra, S. W. 2003. " Kondisi Perairan Segara Anakan Ditinjau dari Indikator Biotik". *Makalah Pengantar Falsafah Sains*. IPB. Bogor.
- Setyawan, A. D. 2003. "Ekosistem Mangrove sebagai Kawasan Peralihan Ekosistem Perairan Tawar dan Perairan Laut". *Enviro* 2 (1): 25-40
- Setyawan A. D., Indowuryatno, Wiryanto, dan Winarno, K. 2004. Pencemaran Logam Berat Fe, Cd, Cr, dan Pb pada Lingkungan Mangrove di Propinsi Jawa Tengah. *Enviro* 4 (20): 45-49
- Shrock, R. R., and Twenhofel, W. H. 1952. *Principles of Invertebrate Paleontology*. (International Student Edition). Second Edition. Mc Graw-Hill Book Company Inc. New York.
- Snedaker, S. C. and Snedaker, J. G. 1984. *The Mangrove Ecosystem: Research Methods* UNESCO. Paris.
- Storelli, M. M., Storelli, A., and Marcogritiano, G. O. 2001. "Heavy Metals in The Aquatic Environment of the Southern Adriatic Sea, Italy Macroalgae, Sediment, and Benthic Spesies". *Environment International* 26: 505-509
- Storelli, M. M., dan Marcotrigiano, G. O. 2002. "Heavy Metal Residus in Tissues of Marine Turtles". *Marine Pollution Bulletin* xx
- Stoeppler, M. 1992. *Hazardous Metals in the Environment*. Elsevier Science Publisher. Jerman.
- Storer, T., I., Stebbins, R. C., Usinger R. L., and Nybakken, J. W. 1979. *General Zoology*. Sixth Edition. Mc Graw-Hill Inc
- Sugianto K., Mukono J., dan Hadiadi H., 1991. "Analisis Kadar Merkuri dan Kadmium dalam Beberapa Hewan Laut di Muara Sungai Kalimas". *Artikel Lingkungan dan Pembangunan*
- Surtipanti K., Mukono, J., dan Hadiadi H. 1992. "Determination of Heavy Metal in Meat, Intestine, Liver Eggs, and Chiken Using Netron Activation and AAS". *Buletin PAIR-BATAN*. Yogyakarta.

- Tiwow, C. 2003. "Kawasan Pesisir Penentu Stok Ikan di Laut". *Makalah Pengantar Falsafah Sains*. IPB. Bogor.
- Utami, R. N. dan Poedjrahajoe E. 2000. "Keanekaragaman Jenis Biota Perairan Hutan Mangrove Pasca Tumpahan Minyak Tanker di Pantai Cilacap". Lembaga Penelitian Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Waldichuk. M. 1974. *Some Biological Concern in Heavy Metals Pollution. Pollution and Physiology of Marine Organism*. Academy Press. London.
- Wardhana W. A. 1995. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Penerbit Andi Offset. Yogyakarta.
- Warlina. L. 2004. "Pencemaran Air: Sumber, Dampak, dan Penanggulangan. "Makalah Pengantar Falsafah Sains". IPB. Bogor.
- Wiryanto. 1997. "Pengaruh Limbah Cair Industri Tekstil PT. Tyfountek Kartosuro Kudus Terhadap Perubahan DO, BOD, Suhu, pH, Kadar Logam, dan Plankton di Sungai Kudus dan Premulung Surakarta". FMIPA UNS. Surakarta.
- Wisconsin Public Health, 2000. *Cadmium*. <http://www.dhfs.state.wi.us/eh/chemfs/fs/cadmium.html>. (13 Maret 2006)
- Yucesoy, B., Turhan, A., Ure, M., Imir, T., and Karakaya, A. 1997. "Effects of Occupational Lead and Cadmium Exposure on Some Immunoregulatory Cytokine Levels in Man". *Toxicology* 123 (1997):143-147

