

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

2.1.1 Pengertian Logam Berat

Berdasarkan daya hantar panas dan listriknya semua unsur-unsur kimia yang terdapat dalam Susunan Berkala Unsur dapat dibagi atas dua golongan yaitu golongan logam dan non logam. Berdasarkan densitasnya, unsur logam dibagi menjadi dua yaitu unsur logam ringan dan unsur logam berat (Fernanda, 2012). Logam berat adalah unsur yang mempunyai densitas lebih besar dari 5 g/cm^3 , dan mempunyai nomor atom 22 sampai 92 yang terletak pada periode III sampai VII dalam susunan berkala. Logam berat jarang sekali berbentuk atom sendiri di dalam air, tetapi biasanya terikat oleh senyawa lain sehingga berbentuk sebuah molekul. Logam berat merupakan senyawa kimia yang berpotensi menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Logam berat memiliki kekuatan dan ketahanan yang baik, daya pantul cahaya dan daya hantar listrik yang tinggi, dan daya hantar panas yang cukup baik (Dahuri, 1996).

Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dibagi menjadi dua jenis yaitu logam berat non esensial dan logam berat esensial. Keberadaan logam berat non esensial dalam tubuh organisme hidup dapat bersifat racun, seperti logam merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), kromium (Cr), dan lain-lain. Sebaliknya, keberadaan logam berat esensial dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh setiap organisme hidup seperti antara lain, seng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe), kobalt (Co), dan mangan (Mn). Logam berat esensial dibutuhkan oleh setiap organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun (Palar, 1994).

2.1.2 Logam Berat Cu

Logam berat tembaga memiliki nama kimia cuprum dan dilambangkan dengan Cu. Dalam tabel periodik unsur-unsur kimia, tembaga menempati posisi dengan nomor atom (NA) 29 dan mempunyai bobot atau berat atom (BA) 63,546. Logam Cu melebur pada 1038°C dan memiliki titik didih 2562°C. Logam Cu digolongkan ke dalam kelompok logam penghantar listrik yang terbaik setelah perak, karena itu logam Cu banyak digunakan dalam bidang elektronika dan perlistrikan (Haruna *et al.*, 2014).

Logam Cu merupakan salah satu logam berat esensial untuk kehidupan makhluk hidup sebagai elemen mikro. Apabila konsentrasi logam Cu dalam tubuh melebihi batas, logam ini akan bersifat racun (Panjaitan, 2009). Pada tumbuhan secara umum, logam Cu memegang peranan penting dalam pertumbuhannya yaitu sebagai activator enzim. Cu juga berguna untuk pertumbuhan jaringan tumbuhan terutama jaringan daun dimana terjadi proses fotosintesis. Kekurangan logam Cu mengakibatkan tumbuhan berdaun kecil dan berwarna kuning, bahkan efek lanjutannya mengakibatkan tumbuhan gagal memproduksi bunga (Hamzah dan Agus, 2010). Namun, apabila kandungan logam Cu melebihi batas toleransi tumbuhan maka dapat mengganggu pertumbuhan termasuk proses fotosintesis dan respirasi (Kristanti *et al.*, 2007).

2.1.3 Sumber Logam Berat Cu

Keberadaan logam berat dalam perairan dapat berasal dari dua sumber yaitu dari alam dan dari aktivitas yang dilakukan oleh manusia. Sumber logam dari alam yang masuk dalam badan perairan bisa berupa pengikisan batu mineral yang banyak bersumber dari perairan dan partikel-partikel yang ada di udara yang masuk ke perairan karena terbawa oleh air hujan. Logam yang berasal dari aktivitas manusia berasal dari limbah industri, limbah rumah tangga dan lain-lain

(Palar, 1994). Limbah industri merupakan salah satu sumber pencemaran logam berat yang potensial bagi perairan. Pembuangan limbah industri secara terus menerus tidak hanya mencemari lingkungan perairan tetapi menyebabkan terkumpulnya logam berat dalam sedimen dan biota perairan (Fernanda, 2012).

Tembaga (Cu) merupakan logam berat yang banyak digunakan dalam industri tekstil, elektronika dan juga digunakan dalam pembuatan cat anti karat (antifouling) (Effendi 2003). Dalam bidang pertanian tembaga banyak digunakan untuk bahan pestisida seperti algasida dan pengendalian makro-invertebrata, selain itu juga digunakan dalam bahan pengawet kayu, pengolahan air, bakterisidal, industri lem, bangunan dan bahan konstruksi (US-EPA 2008).

2.1.4 Pencemaran Logam Berat di Perairan

Logam-logam di perairan ditemukan dalam bentuk terlarut dan tidak terlarut. Logam dalam bentuk terlarut yakni ion logam bebas dalam air dan logam yang membentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik. Logam dalam bentuk tidak terlarut, terdiri dari partikel yang berbentuk koloid dan senyawa kelompok metal yang terabsorpsi pada zat tersuspensi (Hamidah, 1980). Logam berat yang terdapat dalam perairan biasanya dalam bentuk ion jarang sekali yang berbentuk molekul (Darmono 1995). Penyebab utama logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya yaitu logam berat tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh organisme hidup di lingkungan dan terakumulasi ke lingkungan, terutama mengendap di dasar perairan (Rochyatun *et al.*, 2006).

Pencemaran logam berat terhadap lingkungan merupakan proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam berat oleh manusia. Sebagaimana telah diketahui bahwa masukan logam berat ke dalam suatu perairan semakin meningkat sejalan dengan aktivitas manusia yang juga meningkat (Fardiaz, 1992). Logam berat yang masuk ke perairan dapat terakumulasi sepanjang

perairan bahkan dapat terjadi beberapa kilometer setelah sumber polusi. (Andarani dan Roosmini, 2010). Kandungan logam berat yang melebihi ambang batas dapat membahayakan kehidupan makhluk hidup yang berada di aliran sungai dan sekitar aliran sungai yang tercemar oleh logam berat (Fitra *et al.*, 2013).

2.2 Ekosistem Mangrove

Menurut Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan, ekosistem mangrove merupakan kawasan hutan suaka alam yaitu hutan dengan ciri khas tertentu, yang mempunyai fungsi pokok sebagai kawasan pengawetan keanekaragaman tumbuhan dan satwa serta ekosistemnya, yang juga berfungsi sebagai wilayah sistem penyangga kehidupan. Mangrove dapat tumbuh di daerah pasang surut terutama di pantai yang terlindung, laguna dan muara sungai yang tergenang pada saat pasang dan bebas dari genangan pada saat surut yang komunitas tumbuhannya bertoleransi terhadap garam (Kusmana, 2009).

Ekosistem mangrove memiliki peranan ekologi, sosial-ekonomi, dan sosia-budaya yang sangat penting. Fungsi ekologi hutan mangrove yaitu sebagai tempat hidup, mencari makan, berlindung, bertelur dan sebagai terminal atau koridor migrasi bagi berbagai macam fauna antara lain burung, reptilian, moluska, udang dan ikan. Mangrove berperan penting dalam perputaran nutrient atau unsur hara pada perairan pantai di sekitarnya yang di bantu oleh pergerakan pasang surut air laut. Interaksi vegetasi mangrove dengan lingkungan sekitarnya mampu menciptakan kondisi iklim yang sesuai untuk keberlangsungan proses biologi beberapa organisme akuatik. Selain itu, mangrove berfungsi sebagai stabilisator tepian sungai dan pesisir serta memberikan dinamika pertumbuhan di kawasan pesisir, seperti pengendali erosi

pantai, menjaga stabilitas sedimen bahkan turut berperan dalam menambah perluasan lahan daratan dan perlindungan garis pantai (Saputro *et al.*, 2009). Mangrove juga berfungsi untuk remediasi bahan pencemar. Hal ini karena tumbuhan mangrove mempunyai kecenderungan untuk mengakumulasi logam-logam berat yang terdapat dalam ekosistem tempat tumbuhan hidup. Kemampuan akumulasi logam berat tersebut berbeda untuk setiap spesies. (Kartikasari *et al.*, 2002). Fungsi sosial-ekonomi hutan mangrove meliputi kayu bangunan, kayu bakar, kayu lapis, bagan penangkap ikan, dermaga, bantalan kereta api, kayu untuk mebel dan kerajinan tangan, atap huma, tannin, bahan obat, gula, alkohol, asam asetat, protein hewani, madu, karbohidrat, dan bahan pewarna, serta memiliki fungsi sosial-budaya sebagai areal konservasi, pendidikan, ekoturisme dan identitas budaya (Setyawan dan Winarno, 2006).

Keragaman jenis hutan mangrove secara umum relatif rendah dari pada hutan tipe lain. Hal ini disebabkan oleh kondisi lahan hutan mangrove yang secara periodik digenangi oleh air laut. Salinitas air laut yang tinggi berpengaruh terhadap keberadaan jenis tumbuhan. Jenis tanam yang dapat tumbuh pada ekosistem mangrove adalah jenis halofit, yaitu jenis-jenis tegakan yang mampu bertahan terhadap tanah yang mengandung garam dari genangan air laut (Talib, 2008). Jenis mangrove yang banyak ditemukan di Indonesia antara lain adalah jenis api-api (*Avicennia* sp.), bakau (*Rhizophora* sp.), tanjang (*Bruguiera* sp.), dan bogem atau pedada (*Sonneratia* sp.), merupakan tumbuhan mangrove utama yang banyak dijumpai. Jenis-jenis mangrove tersebut adalah kelompok mangrove yang menangkap, menahan endapan dan menstabilkan tanah habitatnya (Irwanto, 2006).

Menurut Arief (2003), pada umumnya hutan mangrove yang masih alami membentuk zonasi mulai dari arah lau ke daratan secara berturut-turut sebagai berikut:

1. Zona *Avicennia*, terletak pada lapisan paling luar dari hutan mangrove. Pada zona ini, tanah mempunyai tekstur berlumpur lembek dan berkadar garam tinggi. Jenis *Avicennia* banyak ditemui berasosiasi dengan *Sonneratia* spp. Karena tumbuh di bibir laut, jenis-jenis ini memiliki perakaran yang sangat kuat yang dapat bertahan dari hempasan ombak laut. Zona ini juga merupakan zona perintis atau pioneer, karena terjadinya penimbunan sedimen tanah akibat cengkaman perakaran tumbuhan jenis ini.
2. Zona *Rhizophora*, terletak di belakang zona *Avicennia* dan *Sonneratia*. Pada zona ini, tanah berlumpur lembek dengan kadar garam lebih rendah. Perakaran tumbuhan tetap terendam selama air laut pasang.
3. Zona *Bruguiera*, terletak di belakang zona *Rhizophora*. Pada zona ini tanah berlumpur agak keras. Perakaran tumbuhan lebih peka serta hanya terendam pasang naik dua kali sebulan.
4. Zona *Nypa*, yaitu zona pembatas antara daratan dengan lautan, namun zona ini sebenarnya tidak harus ada, kecuali jika terdapat air tawar yang mengalir (sungai) ke laut.

2.3 Deskripsi dan Klasifikasi Mangrove

2.3.1 *Sonneratia caseolaris*

Sonneratia caseolaris merupakan salah satu tumbuhan mangrove yang termasuk kedalam Famili Sonneratiaceae. *Sonneratia caseolaris* tumbuh di bagian yang kurang asin di hutan mangrove, pada tanah lumpur yang dalam, seringkali sepanjang sungai kecil dengan air yang mengalir pelan dan terpengaruh oleh pasang surut. Tidak pernah tumbuh pada pematang/ daerah berkarang. Juga tumbuh di sepanjang sungai, mulai dari bagian hulu dimana pengaruh pasang surut masih terasa, serta di areal yang masih didominasi oleh air tawar (Noor *et*

al., 2012). Klasifikasi pedada menurut Tomlinson (1986) diacu *dalam* Kusmana *et al.* (2008) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Filum : Anthophyta
Kelas : Angiospermae
Ordo : Myrtales
Family : Sonneratiaceae
Genus : *Sonneratia*
Spesies : *Sonneratia caseolaris*



Gambar 2. Akar, batang, daun, bunga dan buah *Sonneratia caseolaris* (Onrizal *et al.*, 2005; Noor *et al.*, 2012).

Menurut Kusmana *et al.* (2013), *Sonneratia caseolaris* memiliki nama lokal diantaranya pedada merah (Ind.), Pedada, Perepat merah, Rambai (Banjarmasin), Bogem (Sunda), Betah, Bidada, Bogem, Kapidada (Jawa), Bhugem, Poghem (Madura), Wahat merah, Warakat merah (Ambon), Posi-posi merah (Ternate), Rambai. Adapun ciri-ciri *Sonneratia caseolaris* diantaranya:

- Daun: Susunan daun tunggal, bersilangan. Bentuk jorong sampai oblong. Ujung membulat dengan ukuran panjang $\pm 9-12,5$ cm dan lebar $\pm 4-7$ cm. Tangkai daun kemerahan, lebar dan sangat pendek.
- Bunga: Rangkaian bunga 1 sampai beberapa bunga bersusun di ujung atau cabang/dahan pohon, berkelamin ganda. Pucuk bunga bulat telur dengan mahkota berwarna merah (17-35 x 1.5-3.5) mm, mudah rontok. Kelopak

bunga 6-8 helai, berwarna hijau dan berkulit di bagian luar, di bagian dalam putih kekuningan hingga kehijauan. Benang sari banyak, ujungnya putih dan pangkalnya merah dan rontok. Ukuran diameter 8-10 cm, termasuk bunga sehari (ephemeral), terbuka menjelang malam hari dan berlangsung sepanjang malam hari dan berlangsung sepanjang malam, mengandung banyak madu pada pembuluh kelopak.

- Buah: Buah berbentuk seperti bola, ujungnya bertangkai dan bagian dasarnya terbungkus kelopak bunga. Menghasilkan biji (800-1200), diameter 6-8 cm, berwarna hijau kekuning-kuningan dengan permukaan mengkilap. Kelopaknya tidak menutupi buah dan memanjang horizontal, helai kelopak menyebar.
- Batang: Kulit batang halus dan menjuntai.
- Akar: Akar berbentuk kabel di bawah tanah dan muncul ke permukaan sebagai akar nafas berbentuk kerucut tumpul, tinggi hingga mencapai 1 m, banyak dan sangat kuat.
- Ciri khusus: Bunga dewasa memiliki tangkai daun pendek dengan dasar berwarna kemerah-merahan, benang sari berwarna merah dan putih, akar nafas yang berkembang dengan baik dapat mencapai tinggi lebih dari 1 m, lebih tinggi dibandingkan *S. alba*.

2.3.2 *Avicennia alba*

Avicennia alba merupakan salah satu tumbuhan mangrove yang termasuk kedalam Famili Avicenniaceae / Verbenaceae. *Avicennia alba* banyak ditemukan di ekosistem mangrove yang terletak paling luar. Hidup di tanah berlumpur agak lembek atau dangkal, dengan substrat berpasir, sedikit bahan organik dan kadar garam tinggi (Afzal *et al.*, 2011). Klasifikasi *Avicennia alba* menurut Bengen (2001), adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Filum : Thacheophyta
Kelas : Magnoliopsida
Ordo : Sapindales
Famili : Avicenniaceae
Genus : *Avicennia*
Spesies : *Avicennia alba*



Gambar 3. Akar, batang, daun, bunga dan buah *Avicennia alba* (Yudasakti *et al.*, 2014; Noor *et al.*, 2012)

Menurut Kusmana *et al.* (2013), *Avicennia alba* memiliki nama lokal diantaranya Api-api, Mangi-mangi putih, Boak, Koak. Adapun ciri-ciri *Avicennia alba* diantaranya:

- Daun: Tunggal, bersilangan, berbentuk elips, ujung daun runcing, panjang $\pm 9-11$ cm dan lebar $\pm 4,5$ cm.
- Bunga: Rangkaian 10-13 bunga, panjang 1-3 cm, berada di ujung atau di ketiak daun pada pucuk, mahkotanya 4 berwarna kuning sampai oranye, kelopak 5 helai, benang sari 4 dengan diameter 0.4-0.5 cm.
- Buah: Ukuran buah lebarnya 1.5-2 cm dan panjangnya 2.5-4 cm, berambut halus, buah seperti cabe atau biji buah mete.
- Batang: Kulit kayu berwarna kelabu hingga hitam, seperti kulit ikan hiu.

- Akar: Akar berbentuk kabel di bawah tanah dan muncul kepermukaan sebagai akar nafas berbentuk seperti pensil.
- Ciri khusus: Daunnya ramping panjang dan buah seperti cabe.

2.4 Mekanisme Penyerapan Logam Berat Pada Tumbuhan

Secara alami tumbuhan memiliki beberapa keunggulan salah satunya yaitu memiliki sifat toleran dan mampu mengakumulasi logam berat. Logam berat dapat terakumulasi di permukaan organ tumbuhan atau terserap ke dalam jaringan. Konsentrasi logam berat yang tinggi dalam jaringan tumbuhan disebabkan karena proses masuknya logam berat ke dalam jaringan dapat melalui beberapa cara yaitu penyerapan melalui akar dan daun. Penyerapan melalui daun terjadi karena partikel logam berat di udara jatuh pada permukaan daun dan terserap melalui stomata menuju jaringan lainnya. Penyerapan melalui akar terjadi jika logam berat dalam tanah atau air terdapat dalam bentuk terlarut (Rangkuti, 2004).

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan diikuti dengan pembentukan senyawa kelat dengan protein yang disebut fitokelatin. Senyawa kelat adalah senyawa yang dihasilkan oleh kombinasi senyawa yang mengandung gugus elektron donor dengan ion logam. Fitokelatin merupakan suatu protein yang mengandung elektron donor yang berfungsi untuk mengikat logam berat. Sintesis fitokelatin dalam tumbuhan dikatalisis oleh enzim fitokelatin sintetase (γ -glutamylcystein dipeptidyl transpeptidase) dari glutation. Fitokelatin berhubungan dengan glutation mempunyai struktur umum $(\gamma\text{-Glu-Cys})_n - \text{Gly}$ atau gamma-glutamyl-cysteinyl-glycine. Aktivitas sintesis fitokelatin meningkat sejalan dengan meningkatnya logam-logam berat seperti Cd, Ag, Pb, Cq Hg, Zn, Sn, Cu, dan As (Cobbett, 2000 *dalam* Sudding dan Salempa, 2010).

Menurut Hardiani (2009), mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang sinambung, diantaranya:

1. Penyerapan oleh akar.

Logam berat diserap oleh akar tumbuhan dalam bentuk ion-ion yang larut dalam air seperti unsur hara yang ikut masuk bersama aliran air. Penyerapan logam berat dapat terjadi melalui proses difusi oleh tumbuhan.

2. Translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain. Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tumbuhan melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem) ke bagian tumbuhan lainnya.

3. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tumbuhan. Sebagai upaya untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar.

Menurut Fitter dan Hay (1991) dalam Zakiyyah (2013), adapun mekanisme yang mungkin dilakukan oleh tumbuhan untuk menghadapi konsentrasi toksin adalah:

- a. Penanggulangan (*ameliorasi*), untuk meminimumkan pengaruh toksin terdapat empat pendekatan:

1. Lokalisasi (intraseluler dan ekstraseluler), biasanya pada akar.
2. Ekskresi, secara aktif melalui kelenjar pada tajuk atau secara pasif dengan akumulasi pada daun-daun tua yang di ikuti dengan absisi daun (lepasnya daun).
3. Dilusi (melemahkan), yaitu melalui pengenceran.
4. Inaktivasi secara kimia.

- b. Toleransi, tumbuhan mempunyai sistem metabolik yang dapat mentoleransi konsentrasi toksik.

2.5 Parameter Kualitas Air

2.5.1 Suhu

Menurut Barus (2002), pengukuran temperatur merupakan hal yang mutlak dilakukan dalam penelitian, dikarenakan kelarutan berbagai jenis gas yang terdapat di dalam air beserta semua aktivitas biologis maupun fisiologis di dalam air sangat dipengaruhi oleh temperatur. Menurut Hutabarat dan Evans (1984), suhu merupakan faktor pengendali terhadap proses respirasi dan metabolisme biota akuatik yang berlanjut terhadap pertumbuhan dan proses fisiologis serta siklus reproduksinya.

Menurut Wardana (2004), suhu perairan mempengaruhi kelarutan dan toksisitas logam berat yang masuk ke perairan. Semakin tinggi suhu perairan maka kelarutan logam berat akan semakin tinggi dan toksisitas logam berat tinggi. Sebaliknya semakin rendah suhu perairan maka kelarutan dan toksisitas logam berat akan semakin rendah pula.

2.5.2 pH

Nilai pH menyatakan konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan, Dimana didefinisikan sebagai logaritma dari aktivitas ion hidrogen dan secara matematis yang dinyatakan sebagai $pH = \log 1/H^+$, dimana H^+ adalah banyaknya ion hidrogen dalam mol per liter larutan. Dalam air yang bersih jumlah konsentrasi ion H^+ dan OH^- berada dalam keseimbangan sehingga air yang bersih akan bereaksi netral. Kemampuan air untuk mengikat atau melepaskan sejumlah ion hidrogen akan dapat menunjukkan apakah larutan tersebut bersifat asam ataukah basa (Barus, 2002).

Menurut Umar (2001), nilai pH perairan memiliki hubungan yang erat dengan sifat kelarutan logam berat. Tinggi rendahnya nilai pH akan mempengaruhi kelarutan logam berat di perairan. Kelarutan logam berat akan lebih tinggi pada pH rendah, sehingga menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar. Sedangkan pada pH tinggi kelarutan logam berat menurun dan mengalami pengendapan.

2.5.3 Salinitas

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air. Di dalam perairan estuari sering kali di dominasi oleh proses pencampuran dan penyebaran air tawar ke arah lepas pantai. Distribusi salinitas di perairan estuari sangat dipengaruhi oleh kedalaman, arus pasut, aliran permukaan, penguapan dan sumbangan jumlah air tawar yang masuk keperairan laut (Azis, 2007).

Salinitas dapat mempengaruhi keberadaan konsentrasi logam berat yang ada di perairan. Besar kecilnya nilai konsentrasi logam berat disebabkan oleh salinitas. Pada perairan dengan salinitas tinggi, maka konsentrasi logam berat di perairan semakin kecil. Sedangkan pada perairan dengan salinitas rendah, maka menyebabkan peningkatan konsentrasi logam berat, daya toksik dan tingkat akumulasi logam berat (Erlangga, 2007).