

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kupang Putih (*Corbula faba* Hinds)

2.1.1 Deskripsi dan Taksonomi Kupang Putih (*Corbula faba* Hinds)

Kupang adalah salah satu jenis kerang yang termasuk jenis binatang lunak (moluska), bercangkang belah (*bivalvia shell*), dengan insang yang berlapis-lapis seperti jala dan berkaki kapak (*Pelecypoda*). Kupang hidup secara berkoloni, habitatnya berada pada dasar perairan berlumpur dan perairan yang relatif dekat dengan daratan pantai dan dipengaruhi oleh gerakan pasang surut air laut (Subani dkk. 1983). Spesies yang memiliki nilai ekonomis penting salah satunya ialah kupang putih (*Corbula faba* Hinds). Kupang putih (*Corbula faba* Hinds) sering disebut juga dengan kupang beras.

Kupang putih diklasifikasikan, sebagai berikut (Clarkson, 1979) :

Filum : Mollusca

Kelas : Pelecypoda

Ordo : Vilobransia

Famili : Corbulidae

Genus : *Corbula*

Spesies : *Corbula faba* Hinds

Morfologi kupang putih (*Corbula faba* Hinds) dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Kupang putih (*Corbula faba* Hinds) (Affandi, 2009).

Kupang putih (*Corbula faba* Hinds) merupakan salah satu jenis kerang yang termasuk dalam phylum mollusca. Jenis kupang ini berbentuk cembung lateral dan mempunyai cangkang dengan dua belahan serta engsel dorsal yang menutup daerah seluruh tubuh. Kupang putih (*Corbula faba* Hinds) ini mempunyai bentuk kaki seperti bagian tubuh lainnya, yaitu cembung lateral sehingga disebut *pelecypoda* kaki kapak. Panjang rumah kupang ini antara 1 cm – 2 cm dan lebarnya antara 5 mm – 12 mm. Tubuh kupang hanya menempati sebagian dari rumahnya, yaitu menempel pada tepi kulit dekat *hinge ligament* (Prayitno dan Susanto, 2000). Allah SWT menjelaskan dalam surat An-Nahl (16:14).

وَهُوَ الَّذِي سَخَّرَ الْبَحْرَ لِتَأْكُلُوا مِنْهُ لَحْمًا طَرِيًّا وَتَسْتَخْرِجُوا مِنْهُ حِلْيَةً
تَلْبَسُونَهَا وَتَرَى الْفُلْكَ مَوَازِيرَ فِيهِ وَلِتَبْتَغُوا مِنْ فَضْلِهِ ۗ وَلِعَلَّكُمْ

تَشْكُرُونَ ﴿١٤﴾

Artinya: *Dan Dia-lah, Allah yang menundukkan lautan (untukmu), agar kamu dapat memakan daripadanya daging yang segar, dan kamu mengeluarkan dari lautan itu perhiasan yang kamu pakai; dan kamu melihat bahtera berlayar padanya, dan supaya kamu mencari (keuntungan) dari karunia-Nya, dan supaya kamu bersyukur.*

Menurut Shihab (2002) dalam tafsir Al-Mishbah, Allah SWT yang menciptakan lautan dan sungai serta menjadikannya tempat hidup binatang dan tempat biota laut tumbuh berkembang serta pembentukan aneka perhiasan. Itu dijadikan demikian agar kita dapat mengambil manfaat dari nikmat yang diberikan oleh Allah SWT. 'Aidh al-Qarni (2008) dalam tafsir Muyassar, dialah Allah SWT yang menundukkan lautan bagi manusia, sehingga mereka bisa menyantap daging ikan laut yang empuk lagi segar. Mereka juga mengeluarkan dari laut itu biji mutiara dan permata sebagai perhiasan. Semua karunia tersebut adalah supaya mereka bersyukur kepada Allah SWT atas karunia dan nikmat-nikmat yang agung ini dengan cara memanfaatkannya. Karunia daging segar Allah SWT yang dimaksudkan dalam ayat tersebut merupakan karunia berupa kupang putih (*Corbula faba* Hinds) yang dapat dimanfaatkan sebagai makanan yang kaya akan sumber protein.

Daging menurut Al-Qurtubi (2008) ada tiga jenis; (1) Daging binatang berkaki empat. (2) Daging binatang berbulu. (3) Daging yang ada di dalam air. Dengan demikian daging kupang putih (*Corbula faba* Hinds) termasuk daging di dalam air karena habitatnya di lingkungan perairan.

2.1.2 Habitat Kupang Putih (*Corbula faba* Hinds)

Kupang putih (*Corbula faba* Hinds) termasuk biota pantai, hidup menetap di dasar perairan berlumpur atau berpasir dan konsentrasi terbesar terdapat di muara-muara sungai. Kupang putih (*Corbula faba* Hinds). hidup menancap pada lumpur sedalam lebih kurang 5 mm, dengan kedudukan tegak pada ujung kulitnya yang berbentuk oval. Bila air surut dan keadaannya menjadi dingin, kupang putih (*Corbula faba* Hinds) menancap lebih dalam pada lumpur dan sebaliknya. Dibandingkan dengan kupang merah, kupang putih (*Corbula faba* Hinds) lebih cepat menyesuaikan diri dengan lingkungan setempat. Daya tahan hidup kupang putih di udara bebas lebih kurang 24 jam. Jika mati, kulit kupang putih (*Corbula faba* Hinds) ini tidak membuka, sehingga tidak meimbulkan bau. Pada udara bebas, kupang putih sedikit bergerak atau bahkan tidak bergerak. Jenis kupang putih (*Corbula faba* Hinds) ini seringkali disebut kupang beras (Prayitno dan Susanto, 2000).

Lingkungan perairan kupang putih (*Corbula faba* Hinds) kebanyakan terdapat diantara 2-4 mil dari daratan pantai yang landai. Pada waktu air surut kedalamannya berkisar antara 0,30 – 0,75 m, sedangkan pada waktu air pasang kedalamannya mencapai 3-4 m. Lebih lanjut diterangkan bahwa pada waktu air surut suhu rata-rata adalah 28,57° C, sedangkan kadar garamnya adalah 24,27%. Pada waktu air pasang (mulai pasang) suhu rata-ratanya

adalah 28,70°C, sedangkan kadar garamnya adalah 29,32% (Subani dkk, 1983).

2.1.3 Komposisi Kimia Kupang Putih (*Corbula faba Hinds*)

Protein kerang mempunyai kualitas yang tinggi, hal ini dapat ditentukan melalui nilai asam amino esensial dan nilai biologisnya. Kerang-kerangan mengandung asam amino bebas seperti halnya ikan dan kelompok krustacea. Menurut Subani dkk (1983), komposisi kerang sangat beraneka ragam. Hal ini tergantung dari spesies, jenis kelamin, umur, musim dan habitat. Komponen gizi yang terkandung dalam otot kupang putih meliputi kadar air 75,70%, kadar abu 3,09%, protein 10,85%, lemak 2,68%, dan karbohidrat 1,02% (Prayitno dan Susanto, 2000).

2.1.4 Pemanfaatan Kupang Putih (*Corbula faba Hinds*)

Kupang dapat dijadikan bermacam-macam masakan. Pengembangan kupang sebagai bahan makanan rakyat yang bergizi memiliki prospek yang sangat baik. Limbah kupang juga dapat dimanfaatkan menjadi kerupuk dan petis. Di Jawa Timur, khususnya di daerah Surabaya, Sidoarjo, Bangil, dan Pasuruan, kupang telah lama diusahakan oleh penduduk dan para nelayan sebagai bahan makanan tradisional, (Prayitno dan Susanto 2001).

Otot kupang banyak dimanfaatkan sebagai makanan khas dalam pembuatan kupang lontong dan belum banyak dimanfaatkan untuk pembuatan

produk makanan lainnya. Di Indonesia, khususnya Jawa Timur, kupang dapat diolah menjadi produk lain seperti, bakso kupang, sosis kupang, kecap kupang, dan kupang kering. Sosis kupang dibuat dari campuran otot kupang giling atau otot kupang yang sudah dibumbui dan dimasukkan ke dalam casing. Kecap kupang dibuat dari kaldu kupang atau otot kupang yang telah dilakukan proses fermentasi. Kupang kering merupakan bentuk olahan otot kupang yang dikeringkan setelah dilakukan perebusan, biasanya ditujukan untuk pengiriman jarak jauh sehingga otot kupang tidak cepat membusuk (Subani, 1983).

2.1.5 Mekanisme Akumulasi Logam Berat pada Kupang Putih (*Corbula faba Hinds*)

Fenomena akumulasi logam berat sering ditemukan pada penelitian yang berkaitan dengan bivalvia (kerang). Beberapa alasan terkait mekanisme tersebut adalah sebagai berikut :

1. Akumulasi diduga terkait erat dengan cara makan kerang-kerang (bivalve) yaitu *filter-feeder*. Menurut Barnes (1968) dalam Abdulgani (2009) menyatakan bahwa proses penyaringan pada kerang masuk melalui sifon inkuren dan tersaring di insang. Penyusun utama lapisan membran insang adalah epitel pipih selapis dan berhubungan langsung dengan system pembuluh, dan diduga logam berat yang masuk bersamaan dengan partikel

makanan mengalami difusi melalui membran insang dan terbawa aliran darah. Insang bivalvia, termasuk (*Corbula faba* Hinds) mempunyai mucus atau lendir yang penyusun utamanya adalah system yaitu protein yang tergolong dalam gugus sulfhidril (-SH) yang mampu mengikat logam. Oleh karena sifat mucus insang yang mengalami regenerasi, maka logam berat yang telah terikat pada *mucus* insang turut terlepas dari tubuhnya.

2. Masih terkait dengan mekanisme *filter-feeder*, 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* (Fauziah, 2011). Hal ini juga diduga merupakan salah satu faktor menurunnya konsentrasi logam berat seiring dengan membesarnya ukuran tubuh.
3. Faktor ketiga terkait dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziah (2011) dimana kerang darah (*Anadara granosa*) yang berukuran >2,5-3 cm mengakumulasi logam berat merkuri lebih banyak dibandingkan kerang darah yang berukuran < 2,5-3 cm. Hal ini diduga ukuran kerang berkorelasi positif dengan tingkat akumulasi logam berat. Selain itu diduga juga bahwa tingkat akumulasi logam berat sangat bergantung pada jenis spesies.

2.2 Logam Berat

Logam berat unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 gr/cm³, terletak di sudut kanan bawah sistem periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 dari perioda 4 sampai 7 (Soemirat, 2003). Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini masuk kedalam tubuh organisme hidup. Unsur logam berat baik itu logam berat beracun seperti merkuri (Hg), cadmium (Cd) maupun timbal (Pb), bila masuk kedalam tubuh dalam jumlah berlebihan akan menimbulkan pengaruh-pengaruh buruk terhadap fungsi fisiologis tubuh (Palar, 1994).

Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat dapat menjadi bahan racun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup (Palar, 1994).

Di Indonesia, pencemaran logam berat cenderung meningkat sejalan dengan meningkatnya proses industrialisasi. Pencemaran logam berat dalam lingkungan bisa menimbulkan bahaya bagi kesehatan, baik pada manusia, hewan, tanaman, maupun lingkungan. Menurut Widowati (2008) Logam berat dibagi dalam 2 jenis, yaitu:

1. Logam berat esensial, yakni logam dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organisme. Dalam jumlah yang berlebihan logam tersebut bisa menimbulkan efek toksik. Contohnya adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya.
2. Logam berat tidak esensial, yakni logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat toksik, seperti Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain-lain.

2.2.1 Merkuri (Hg)

Merkuri disebut juga air raksa, merkuri merupakan logam yang secara alami ada dan merupakan satu-satunya logam yang pada suhu kamar berwujud cair. Logam murninya berwarna keperakan, cairan tak berbau, dan mengkilap. Bila dipanaskan sampai suhu 357°C , Hg akan menguap. Selain untuk kegiatan penambangan emas, logam Hg juga digunakan dalam produksi gas klor dan soda kaustik, termometer, bahan tambal gigi, dan baterai, kadar merkuri pada perairan laut berkisar $<10\text{-}30\text{ng/l}$ (Efendi, 2003). Umumnya merkuri (Hg) beracun bagi makhluk hidup, namun sebagian organisme laut, seperti ikan dan kerang, mampu membuatnya tidak beracun bagi tubuhnya dengan proses *methylating* yang menghasilkan metil merkuri dalam tubuhnya. Sementara bagi manusia sangat beracun (Mukhtasor, 2007).

Merkuri (Hg) yang mengendap di sedimen laut, dalam kondisi anaerobik bereaksi dengan sulfide membentuk senyawa kompleks yang tidak terlarut dalam air namun senyawa tersebut dapat terambil oleh organisme

bentuk dan mengalami metilasi (Mukhtasor, 2007). Menurut Palar (1994) proses metilisasi merkuri (Hg) biasanya terjadi di alam pada kondisi terbatas, membentuk satu dari sekian banyak elemen berbahaya, karena dalam bentuk ini merkuri (Hg) sangat mudah terakumulasi pada rantai makanan. Mukhtasor (2007) menambahkan merkuri (Hg) mempunyai kemampuan yang tinggi untuk ikut proses bioakumulasi pada organisme laut. Hal ini menyebabkan merkuri (Hg) akan terakumulasi pada jaringan tubuh makhluk hidup. Bioakumulasi merkuri (Hg) ini berlanjut mengikuti rantai makanan. Dengan demikian, predator mempunyai konsentrasi merkuri lebih tinggi dibanding organisme yang dimakannya.

Menurut Mukhtasor (2007) merkuri (Hg) di laut berasal dari buangan limbah industri, limpasan air hujan dan dari atmosfer. Persenyawaan merkuri yang terdapat di dalam endapan dasar perairan oleh adanya aktivitas kehidupan bakteri pada endapan tersebut mengakibatkan persenyawaan merkuri yang ada diubah menjadi Hg_2 dan HgO . Logam merkuri (Hg) yang dihasilkan dari aktivitas bakteri ini karena dipengaruhi oleh faktor fisika dapat langsung menguap ke udara. Tetapi pada akhirnya merkuri yang telah menguap dan berada tatanan udara itu akan masuk kembali ke dalam badan perairan oleh hujan atau faktor-faktor lainnya (Palar, 1994).

Senyawa ion metil merkuri yang ada dalam badan perairan akan dimakan oleh biota perairan seiring dengan system rantai makanan di air.

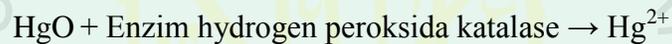
Pertama ion merkuri dimakan oleh organisme planktonik. Plankton dimakan oleh ikan-ikan kecil, udang dan biota lainnya termasuk kerang. Selanjutnya ikan-ikan kecil tersebut akan dimakan oleh ikan-ikan yang lebih besar, begitu seterusnya sampai pada puncak rantai makanan ini adalah manusia yang akan mengkonsumsi organisme laut yang telah mengakumulasi atau terkontaminasi oleh senyawa merkuri (Palar, 1994). Menurut Efendi (2003), organisme yang berada pada rantai makanan paling tinggi (*top carnivora*) memiliki kadar merkuri yang lebih tinggi dibandingkan organisme di bawahnya. Mukhtasor (2007) menambahkan merkuri (Hg) merupakan logam yang dianggap paling berbahaya baik untuk organisme laut maupun manusia.

Palar (1994) juga menjelaskan bahwa proses transformasi ion metil merkuri dalam system rantai makanan mengalami pelipatgandaan. Konsentrasi dari ion metil merkuri yang masuk dan terakumulasi dalam jaringan biota terus meningkat seiring dengan peningkatan strata atau posisi dari biota seperti ikan ataupun kerang besar yang telah memakan ikan-ikan yang lebih kecil yang telah terkontaminasi oleh ion metil merkuri, disinyalir mempunyai kandungan metil merkuri yang lebih besar dalam tubuhnya. Pelipatgandaan akumulasi merkuri (Hg) dalam jaringan biota perairan ini sesuai pula dengan proses biomagnifikasi yang terjadi dalam lingkungan perairan. Akhirnya manusia yang menempati posisi puncak dari semua system rantai makanan akan mengkonsumsi metil merkuri dalam jumlah yang cukup

besar. Pemanfaatan biota laut yang telah terkontaminasi oleh metil merkuri sebagai bahan makanan dapat mengakibatkan keracunan kronis akan merkuri (Hg).

2.2.1.1 Akumulasi Merkuri (Hg)

Senyawa merkuri anorganik dalam darah akan mengalami proses oksidasi, yang dilakukan oleh enzim hydrogen peroksida katalase sehingga berubah menjadi ion Hg^{2+} . Ion merkuri ini selanjutnya dibawa ke seluruh tubuh bersama dengan peredaran darah (Palar, 1994).



Menurut Palar (1994) selain terjadi penumpukan pada otak, merkuri terserap dan menumpuk pada ginjal serta hati. Namun demikian penumpukan yang terjadi pada organ ginjal dan hati masih dapat dikeluarkan bersama urine dan sebagian akan menumpuk pada empedu. Penjelarasannya, waktu retensi logam merkuri di ginjal berlangsung dalam waktu singkat, sehingga tidak begitu berpengaruh. Waktu paruh merkuri (Hg) dalam ginjal berkisar dalam 1 bulan. Sedangkan waktu paruh merkuri (Hg) di dalam otak bisa mencapai bertahun-tahun. Selain merkuri, dapat menumpuk pada organ-organ tubuh seperti penjelasan di atas, merkuri (Hg) ternyata mampu menembus membran plasenta.

Pembuangan senyawa merkuri organik dari dalam tubuh berkaitan erat dengan system urinaria atau system pembuangan. Merkuri (Hg) yang tadinya masuk ke dalam hati akan terbagi dua. Sebagian akan terakumulasi pada hati, sedangkan sebagian lainnya akan dikirim ke empedu. Dalam kantung empedu, senyawa merkuri organik akan dirombak untuk dapat dihancurkan dan dimusnahkan daya racunnya. Hasil perombakan tersebut umumnya berupa senyawa merkuri anorganik, yang kemudian akan dikirim lewat darah ke ginjal. Pada ginjal senyawa merkuri anorganik ini akan mengalami proses pemilahan akhir, dimana sebagian akan terakumulasi pada ginjal dan sebagian lagi akan dibuang bersama dengan urine (Palar, 1994).

2.2.1.2 Toksisitas Merkuri (Hg)

Menurut Palar (1994) keracunan akut yang ditimbulkan oleh logam merkuri dapat diketahui dengan mengamati gejala-gejala berupa peradangan pada tekak (pharyngitis), dyspaghia, rasa sakit pada bagian perut, mual-mual dan muntah, diare disertai dengan darah dan shok. Bila gejala-gejala ini tidak segera diatasi, penderita selanjutnya akan mengalami pembengkakan pada kelenjar ludah, radang pada ginjal (nephritis) dan radang pada hati (hepatitis).

Bentuk persenyawaan merkuri (Hg) sangat menentukan dari tingkat racun yang dapat ditimbulkan. Karena itu daya racun dari senyawa merkuri(II)klorida akan berbeda dengan daya racun yang dapat ditimbulkan

oleh merkuri(II)ionida. Untuk senyawa HgCl_2 bila toksikan kemasukan sebesar 29 mg/kg dapat menyebabkan kematian. Sedangkan untuk senyawa HgI_2 kematian baru terjadi bila konsentrasi senyawa yang masuk sebesar 357 mg/kg (Palar, 1994).

2.2.2 Cadmium (Cd)

Cadmium (Cd) adalah logam berwarna putih perak, lunak, mengkilap, tidak larut dalam basa, mudah bereaksi, serta menghasilkan cadmium oksida bila dipanaskan. Cadmium (Cd) umumnya terdapat dalam kombinasi dengan klor (Cd klorida) atau belerang (Cd Sulfit). Cadmium bisa membentuk Cd^{2+} yang bersifat tidak stabil. Cadmium (Cd) memiliki nomor atom 48, berat atom 112,4 g/mol, titik leleh 321°C , dan titik didih 767°C (Widowati, 2008).

Logam cadmium (Cd) akan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup (tumbuhan, hewan, dan manusia). Logam ini masuk ke dalam tumbuhan bersama makanan yang dikonsumsi, tetapi makanan tersebut telah terkontaminasi oleh logam cadmium (Cd) dan atau persenyawaan. Dalam tubuh biota perairan jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan. Disamping itu, tingkatan biota dalam sistem rantai makanan turut menentukan jumlah cadmium (Cd) yang terakumulasi (Darmono, 2006).

Sumber pencemaran dan paparan cadmium (Cd) berasal dari polusi udara, rokok, air sumur, makanan yang tumbuh di daerah pertanian yang tercemar cadmium (Cd), fungisida, pupuk, serta cat. Paparan dan toksisitas cadmium (Cd) berasal dari rokok, tembakau, pipa rokok yang mengandung cadmium (Cd), perokok pasif, plastik berlapis cadmium (Cd), serta air minum (Widowati, 2008).

Cadmium (Cd) banyak digunakan sebagai pigmen warna cat, keramik, plastik, industri baterai, bahan fotografi, pembuatan tabung TV, PVC, dan percetakan tekstil (Widowati, 2008). Kasus toksisitas cadmium (Cd) dilaporkan sejak pertengahan tahun 1980-an dan kasus tersebut semakin meningkat sejalan dengan perkembangan ilmu kimia di akhir abad 20-an. Sampai sekarang diketahui bahwa cadmium (Cd) merupakan logam berat yang paling banyak menimbulkan toksisitas pada makhluk hidup (Darmono, 2001).

Logam cadmium (Cd) mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Logam kadmium dan bentuk-bentuk persenyawaannya dapat masuk ke lingkungan, terutama sekali merupakan efek samping dari aktivitas yang dilakukan manusia. Dapat dikatakan bahwa semua industri yang melibatkan kadmium dalam proses operasional industrinya menjadi sumber pencemaran cadmium. Selain itu kadmium juga berasal dari pembakaran sampah rumah

tangga dan pembakaran bahan bakar fosil karena secara alami bahan bakar mengandung kadmium, penggunaan pupuk fosfat buatan (Mukhtasor, 2007).

2.2.2.1 Akumulasi Cadmium (Cd)

Logam cadmium (Cd) juga mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup. Logam ini masuk ke dalam tubuh bersama makanan yang dikonsumsi, tetapi makanan tersebut telah terkontaminasi oleh logam cadmium (Cd) dan atau persenyawaannya. Dalam tubuh biota perairan jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan dengan adanya biomagnifikasi di badan perairan jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan dengan adanya proses biomagnifikasi di badan perairan. Disamping itu, tingkatan biota dalam system rantai makanan turut menentukan jumlah cadmium (Cd) yang terakumulasi. Dimana pada biota yang lebih tinggi stratanya akan ditemukan akumulasi cadmium (Cd) yang lebih banyak, sedangkan pada biota *top level* merupakan tempat akumulasi paling besar. Bila jumlah cadmium (Cd) yang masuk tersebut telah melebihi nilai ambang maka biota dari suatu level atau sastra tersebut akan mengalami kematian dan bahkan kemusnahan (Palar, 1994).

Logam berat cadmium (Cd) di air kebanyakan dijumpai dalam bentuk ion. Cadmium (Cd) dalam air laut berbentuk senyawa klorida (CdCl_2),

sedangkan dalam air tawar berbentuk karbonat (CdCO_3). Pada air payau, biasanya pada daerah muara dan pantai, kedua senyawa tersebut jumlahnya berimbang. Logam berat berbahaya terakumulasi oleh biota laut diserap melalui insang dan saluran pencernaan. Logam berat cadmium (Cd) dapat tertimbun dalam jaringan dan berikatan dengan protein dimana disebut dengan metalotionein (MTN) yang bersifat agak permanen dan mempunyai waktu paruh yang cukup lama (Darmono, 2001).

Dalam strata lingkungan, cadmium (Cd) dan persenyawaannya ditemukan dalam banyak lapisan. Secara sederhana dapat diketahui bahwa kandungan cadmium (Cd) akan dapat dijumpai di daerah-daerah penimbunan sampah dan aliran hujan, selain dalam air buangan (Palar, 1994). Cadmium (Cd) akan mengalami biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme. Dalam tubuh biota perairan jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan dengan adanya proses biomagnifikasi di badan air. Di samping itu, tingkatan biota dalam sistem rantai makanan turut menentukan jumlah cadmium (Cd) yang terakumulasi. Dimana pada biota yang lebih tinggi stratanya akan ditemukan akumulasi cadmium (Cd) yang lebih banyak (Mukhtasor, 2007).

Menurut Widowati (2008), cadmium (Cd) dapat masuk ke dalam tubuh hewan atau manusia melalui berbagai cara, yaitu:

- a. Dari udara yang tercemar, misalnya asap rokok dan asap pembakaran batu bara.
- b. Melalui wadah/tempat berlapis cadmium yang digunakan untuk tempat makanan atau minuman.
- c. Melalui kontaminasi perairan dan hasil perairan yang tercemar cadmium
- d. Melalui rantai makanan
- e. Melalui konsumsi daging yang diberi obat anthelminthes yang mengandung cadmium.

Absorpsi cadmium (Cd) melalui gastrointestinal lebih rendah dibandingkan absorpsi melalui respirasi, yaitu sekitar 5-8%. Absorpsi cadmium meningkat bila terjadi defisiensi kalsium (Ca), besi (Fe) dan rendah protein dalam makanan. Defisiensi kalsium akan merangsang sintesis ikatan Ca-protein sehingga akan meningkatkan absorpsi cadmium (Cd), sedangkan kecukupan seng dalam makanan dapat menurunkan absorpsi cadmium (Cd). Hal ini diduga karena seng merangsang produksi metalotionin. Cadmium (Cd) ditransportasikan dalam darah yang berikatan dengan sel darah merah dan protein berat molekul tinggi dalam plasma, khususnya oleh albumin. Sejumlah kecil cadmium (Cd) dalam darah mungkin ditransportasikan oleh metalotionin. Kadar cadmium (Cd) dalam darah orang dewasa yang terpapar cadmium (Cd) secara berlebihan biasanya $1\mu\text{g/dL}$, sedangkan bayi yang baru lahir mengandung kadmiun yang cukup rendah yaitu kurang dari 1 mg dari beban total tubuh (Palar, 1994).

2.2.2.2 Toksisitas Cadmium (Cd)

Menurut Efendi (2003) cadmium (Cd) bersifat kumulatif dan sangat toksik bagi manusia karena dapat mengakibatkan gangguan fungsi ginjal dan paru-paru, meningkatkan tekanan darah dan mengakibatkan kemandulan pada pria dewasa. Cadmium (Cd) juga bersifat sangat toksik dan bioakumulasi terhadap organisme, toksisitas tersebut dipengaruhi oleh pH dan kesadahan. Achmad (2004) menambahkan pengaruh cadmium (Cd) bagi manusia sangat serius. Diantaranya adalah menyebabkan tekanan darah tinggi, kerusakan ginjal, kerusakan jaringan testikuler dan kerusakan sel-sel darah merah.

Keracunan yang bersifat kronis yang disebabkan oleh daya racun yang dibawa oleh logam cadmium (Cd) terjadi dalam selang waktu yang sangat panjang. Peristiwa ini terjadi karena logam cadmium (Cd) yang masuk ke dalam tubuh dalam jumlah kecil, sehingga dapat ditolerir oleh tubuh pada saat tersebut. Akan tetapi karena proses pemasukan tersebut terus-menerus secara berkelanjutan, maka tubuh pada batas akhir tidak lagi mampu memberikan toleransi terhadap daya racun yang dibawa oleh cadmium (Cd) (Palar, 1994).

2.2.3 Timbal (Pb)

Perairan sering tercemar oleh berbagai komponen anorganik diantaranya berbagai jenis logam berat berbahaya yang banyak dihasilkan dari

proses industri. Salah satu logam yang berbahaya bagi manusia yaitu timbal (Pb). Timbal (Pb) adalah logam yang berwarna abu-abu kebiruan, dengan kerapatan yang tinggi (11,48 gr/ml pada suhu kamar). Timbal (Pb) memiliki nomor atom 82, berat atom 207,9, jari-jari atom $1,75 \text{ \AA}$ dan jari-jari ($4 \pm 0,76$) \AA . Partikel timbal mempunyai ukuran $0,045\text{-}0,33 \text{ \mu m}$ mempunyai kecepatan pengendapan $8,71 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ (Daryanto, 1983).

Sifat-sifat dan kegunaan timbal (Pb) adalah (a) mempunyai titik lebur yang rendah sehingga mudah digunakan dan murah biaya operasionalnya, (b) mudah dibentuk karena lunak, (c) mempunyai sifat kimia yang aktif sehingga dapat digunakan untuk melapisi logam untuk mencegah perkaratan, (d) bila dicampur dengan logam lain membentuk logam campuran yang lebih bagus daripada logam murninya, (e) kepadatannya melebihi logam lainnya (Fardiaz, 1992).

Menurut Ulfen (1995) timbal (Pb) merupakan salah satu logam non esensial yang sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan (toksisitas) pada makhluk hidup. Racun ini bersifat kumulatif, artinya sifat racunnya akan timbul apabila terakumulasi dalam jumlah yang cukup besar dalam tubuh makhluk hidup. Timbal (Pb) terdapat di air karena adanya kontak antara air dengan tanah atau udara tercemar timbal (Pb), air yang tercemar oleh limbah industri atau akibat korosi pipa.

Timbal (Pb) pada perairan ditemukan dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Kelarutan timbal (Pb) cukup rendah sehingga kadar timbal (Pb) di dalam air relatif sedikit. Kadar dan toksisitas timbal (Pb) dipengaruhi oleh kesadahan, pH, alkalinitas, dan kadar oksigen. Timbal diserap baik oleh tanah sehingga pengaruhnya terhadap tanaman relatif kecil. Di perairan tawar, timbal (Pb) membentuk senyawa kompleks yang memiliki sifat kelarutan rendah. Timbal (Pb) banyak digunakan dalam industri baterai (Mukhtasor, 2007).

2.2.3.1 Akumulasi Timbal (Pb)

Menurut Darmono (2006) logam berat seperti timbal (Pb), cadmium (Cd), dan merkuri (Hg) sangat berpotensi untuk mengganggu sistem kekebalan dalam hewan laboratorium, begitu juga pada manusia. Beberapa kasus dilaporkan bahwa orang yang terpapar logam menderita gangguan pada sistem kekebalannya. Hal tersebut karena penurunan IgA. Logam berat seperti timbal (Pb) erat hubungannya dengan terjadinya penyakit pada sistem kekebalan pada orang.

Menurut Darmono (2006) mekanisme terjadinya gangguan kekebalan seperti bila sel-B terganggu akan terjadi hambatan perkembangan sel plasma. Di samping itu juga dapat terjadi gangguan pada berkurangnya kinerja sistem komplemen. Palar (1994) menambahkan timbal (Pb) dan cadmium (Cd) adalah logam yang dapat berikatan dengan kelompok sulfhidril dalam sistem

enzim, hal tersebut menyebabkan fungsi limfosit tidak bekerja secara sempurna. Pada saat terjadinya pembesaran sel-T dan sel-B saat terjadinya respons sistem imun dapat menyebabkan terjadinya proses autoimunitas, logam diduga berperan penting terjadinya proses autoimunitas.

2.2.3.2 Toksisitas Timbal (Pb)

Walaupun mekanisme secara pasti bagaimana timbal (Pb) menghambat respons kekebalan belum begitu jelas, gangguan terhadap *retikuloendotelial* (sistem pembentukan darah) dan gangguan fungsi hati telah banyak dilaporkan. Hal tersebut secara tidak langsung dapat menghambat sistem kekebalan. Beberapa peneliti melaporkan bahwa timbal (Pb) mengganggu proses aktivitas fagositosis polimorfonuklear dan menurunkan produksi lisosim aktif (Darmono, 2006).

Menurut Novianto (2012) akumulasi logam timbal (Pb) dalam tubuh menimbulkan gejala keracunan pada setiap orang, antara lain sistem pernapasan, darah, dan sistem saraf. Menurut SNI 7387:2009 pada bayi dan anak-anak paparan terhadap timbal (Pb) yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan otak; penghambatan pertumbuhan anak-anak, kerusakan ginjal, gangguan pendengaran, mual, sakit kepala, kehilangan nafsu makan dan gangguan pada kecerdasan dan tingkah laku. Pada orang dewasa, timbal (Pb) dapat menyebabkan peningkatan tekanan darah dan gangguan pencernaan,

kerusakan ginjal, kerusakan syaraf, sulit tidur, sakit otak dan sendi, dan gangguan reproduksi. Sedangkan Ganiswarna (1995) menjelaskan bahwa, gejala kronik keracunan timbal (Pb) yaitu sakit kepala, rasa logam dalam mulut, garis biru pada gusi, sakit perut (kolik), diare, anemia, *basophilic stippling* dari eritrosit. Paralisis dan kejang. koproporfirinuria, kelainan radiologic pada tulang.

Widaningrum (2007) menambahkan bahwa sejumlah sumber makanan, baik yang berasal dari laut seperti ikan, kerang, dan rumput laut serta dari tanaman dan produk turunannya dapat terkontaminasi logam berat. Logam berat dapat memasuki tubuh dan mengakibatkan kerusakan pada berbagai jaringan tubuh melalui beberapa cara. Mekanisme pertama adalah berikatan dengan gugus sulfhidril, sehingga fungsi enzim pada jaringan tubuh akan terganggu kerjanya. Mekanisme yang kedua adalah berikatan dengan enzim pada siklus Krebs, sehingga proses oksidasi fosforilasi tidak terjadi. Mekanisme yang ketiga adalah dengan efek langsung pada jaringan yang terkena yang menyebabkan kematian (nekrosis) pada lambung dan saluran pencernaan, kerusakan pembuluh darah, perubahan degenerasi pada hati dan ginjal. Tubuh dapat menyerap logam berat melalui permukaan kulit dan mukosa, saluran pencernaan dan saluran nafas. Akumulasi pada jaringan tubuh dapat menimbulkan keracunan bagi manusia, hewan, dan tumbuhan apabila melebihi batas toleransi.

Dalam tubuh, timbal (Pb) masuk dalam sirkulasi darah, setelah diabsorpsi dari usus, terutama hubungannya dengan sel darah merah (*eritrosit*). Mula-mula didistribusikan ke dalam jaringan seperti tubulus ginjal dan sel hati, tetapi berinkorporasi dalam tulang dan hanya sebagian kecil tersimpan dalam otak. Dalam tulang, timbal (Pb) ditemukan dalam bentuk Pb-fosfat atau $Pb_3(PO_4)_2$. Secara teori selama timbal (Pb) masih terikat dalam tulang tidak akan menyebabkan gejala sakit pada penderita. Tetapi yang berbahaya ialah toksisitas timbal (Pb) yang diakibatkan oleh gangguan absorpsi Ca, dimana terjadinya resorpsi Ca dari tulang menyebabkan terjadinya penarikan deposit timbal (Pb) dari tulang tersebut. Misalnya terjadi pada diet yang mengandung fosfat rendah akan menyebabkan pembebasan timbal (Pb) dari tulang ke dalam darah. Penambahan vitamin D dalam makanan akan meningkatkan deposit timbal (Pb) dalam tulang, walupun kadar fosfatnya rendah dan hal ini justru mengurangi pengaruh negatif timbal (Pb) (Purnomo, 2007).

2.3 Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle)

2.3.1 Deskripsi dan Taksonomi Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle)

Jeruk nipis merupakan salah satu jenis citrus (jeruk) yang asal usulnya adalah dari India dan Asia Tenggara. Adapun sistematika jeruk nipis adalah sebagai berikut (Dasuki, 1991) :

Kingdom : Plantae
Divisi : Spermatophyta
Subdivisi : Angiospermae
Kelas : Dicotyledoneae
Bangsa : Geraniales
Suku : Rutaceae
Marga : Citrus
Jenis : *Citrus aurantifolia* Swingle

Gambar jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle) dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle)

Tanaman jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle) dikenal juga dengan nama jeruk pecel (jawa). Tanaman ini diduga berasal dari India Utara dan Asia Tenggara. Tanaman jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle) mempunyai tinggi 5 meter dan bercabang lebat tidak beraturan. Tajuknya selalu berwarna hijau dan rantingnya berduri pendek, kaku dan tajam. Daun jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*

Swingle) bersusun selang-seling, berbentuk jorong sampai bundar dan berukuran 4-8 x 2-5 cm. pinggir daun jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle) bergerigi kecil dengan tangkai daunnya bersayap sempit. Bunga jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle) tersusun dalam tangkai daunnya bersayap sempit (Wahyu, 2005).

Allah SWT berfirman dalam surat Al-An'aam (6:141)

﴿وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ
وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أُكْلُهُ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُتَشَابِهًا وَغَيْرَ
مُتَشَابِهٍ كُلُوا مِن ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَعَآتُوا حَقَّهُ يَوْمَ حَصَادِهِ
وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ﴿١٤١﴾

Artinya: *Dan Dialah yang menjadikan kebun-kebum yang berjunjung dan yang tidak berjunjung, pohon korma, tanam-tanaman yang bermacam-macam buahnya, zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak sama (rasanya). Makanlah dari buahnya (yang bermacam-macam itu) bila dia berbuah, dan tunaikanlah haknya di hari memetik hasilnya (dengan disedekahkan kepada fakir miskin); dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan.*

Menurut Al-Qurtubi (2008) ayat tersebut menjelaskan bahwa, Allah SWT menciptakan kebun-kebum dengan tanaman yang tumbuh merambat di atas tanah seperti pohon anggur dan pohon semangka. Sedangkan tanaman yang tumbuh tinggi dan berbatang seperti pohon kurma dan pohon-pohon seumpamanya. Salah satu tumbuhan ciptaan Allah SWT yaitu jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle)

dan jeruk nipis termasuk tumbuhan yang tumbuh tinggi serta berbatang. Dengan tinggi dapat mencapai 5 meter, serta bercabang lebat.

Menurut Wahyu (2005) bunga jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle) tersusun dalam tandan. Jumlahnya mencapai 10 buah per tandan. Bunga tersebut berwarna putih, kelopak daunnya berbentuk cawan dan memiliki 4-6 cuping. Mahkota bunga sebanyak 4-6 helai dengan panjang 8-12 cm. benang sarinya berjumlah 20-25 utas. Bunga jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle) ada yang sempurna dan ada juga yang hanya berbunga jantan.

Buah matang 4-6 bulan setelah berbunga, biasanya terjadi pada bulan Mei-Juni. Buah jeruk tergolong berbiji banyak dan kulit buahnya banyak mengandung minyak atsiri. Buah jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle) umumnya berbentuk bulat dengan tipe buah buni. (Wahyu, 2005). Buah jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle) ketika masih muda berwarna hijau, setelah tua berwarna kuning. Tanaman ini mempunyai akar tunggang dan akar samping yang kuat dan dalam sekali hingga mencapai 3 m (Sunarjono, 2007).

Karakter khusus tanaman jeruk yang lain apabila daun tanaman diremas sampai hancur akan mengeluarkan bau harum yang khas dari minyak atsiri. Selain itu, umumnya, tanaman jeruk bersifat poliembrioni sehingga dalam suatu populasi yang berasal dari biji sebagian besar tanamannya mempunyai sifat yang identik dengan tanaman induknya (Ashari, 2004).

2.3.2 Kandungan dan Kegunaan

Buah jeruk nipis memiliki rasa pahit, asam, dan bersifat sedikit dingin.

Beberapa bahan kimia yang terkandung dalam jeruk nipis di antaranya adalah asam sitrat sebanyak 7-7,6%, damar lemak, mineral, vitamin B1, sitral limonene, fellandren, lemon kamfer, geranil asetat, cadinen, linalin asetat. Selain itu, jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle) juga mengandung vitamin C sebanyak 27mg/100 g jeruk, Ca sebanyak 40mg/100 g jeruk, dan P sebanyak 22 mg (Widiyanti, 2004). Allah SWT berfirman dalam surat Luqman (31:10).

خَلَقَ السَّمَوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا وَالْأَرْضِ رَواسِيَ أَنْ تَمِيدَ
بِكُمْ وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ

زُوجٍ كَرِيمٍ ﴿١٠﴾

Artinya: *Dia menciptakan langit tanpa tiang yang kamu melihatnya dan Dia meletakkan gunung-gunung (di permukaan) bumi supaya bumi itu tidak menggoyangkan kamu; dan memperkembang biakkan padanya segala macam jenis binatang. Dan Kami turunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik.*

Menurut Shihab (2002) dalam tafsir Al-Mishbah, ayat di atas menyatakan Allah menciptakan langit yang tinggi dan luas tanpa tiang, dan Allah SWT menciptakan gunung-gunung yang sangat kokoh supaya bumi itu tidak goncang, kendati bumi lonjong dan terus berputar; dan Allah SWT

mengembangbiakkan di sana segala jenis binatang yang berakal, menyusui, bertelur, melata dan lain-lain, dan Allah SWT turunkan air hujan dari langit, lalu Allah SWT tumbuhkan di Bumi segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik. Menurut Al-Qurtubi (2009) ayat tersebut menyiratkan bahwa Allah SWT menumbuhkan berbagai tumbuh-tumbuhan dan tanaman hijau serta lingkungan yang baik. Allah SWT menyebut tumbuhan dalam Al-Qur'an sebagai *karim*. Tumbuhan yang baik yang dimaksudkan dalam hal ini yaitu jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle)

Tanaman genus *Citrus* merupakan salah satu tanaman penghasil minyak atsiri yang merupakan suatu substansi alami yang telah dikenal memiliki efek sebagai antibakteri. Minyak atsiri yang dihasilkan oleh tanaman yang berasal dari genus *Citrus* sebagian besar mengandung terpen, siskuitерpen alifatik, turunan hidrokarbon teroksigenasi, dan hidrokarbon aromatic (Widiyanti, 2004).

Komposisi senyawa minyak atsiri dalam jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle) antara lain limonen (33,33%), β -pinen(15,85%), sitral (10,54%), neral (7,94%), γ -terpinen (6,80%), α -farnesen (4,14%), α -bergamoten (3,38%), β -bisabolen (3,05%), α -terpineol (2,98%), linalol (2,45%), sabinen (1,81%), β -elemen (1,74%), nerol (1,52%), α -pinen (1,25%), geranil asetat (1,23%), 4-terpineol (1,17%), nerilasetat (0,56%) dan trans- β -osimen (0,26%) (Astarini, 2009).

Jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle) dapat dijadikan obat tradisional yang berkhasiat mengurangi demam, batuk, infeksi saluran kemih, ketombe, menambah stamina, mengurangi jerawat serta sebagai anti-inflamasi dan antimikroba (Astarini, 2009).

2.3.2 Pengikatan Logam Berat Oleh Asam Sitrat Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle)

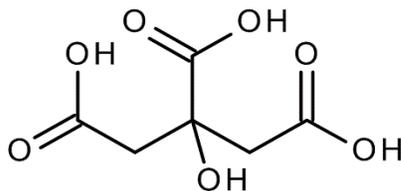
Asam sitrat merupakan asam organik lemah yang ditemukan pada daun dan buah tumbuhan genus *Citrus* (jeruk – jerukan). Senyawa ini merupakan bahan pengawet yang baik dan alami, selain digunakan sebagai penambah rasa masam pada makanan dan minuman ringan. Dalam biokimia, asam sitrat dikenal sebagai senyawa antara dalam siklus asam sitrat, yang penting dalam metabolisme makhluk hidup, sehingga ditemukan pada hampir semua makhluk hidup (Poedjiadi, 2005).

Asam jeruk nipis atau asam sitrat adalah pelarut protik hidrofilik (polar), mirip seperti air dan etanol. Asam sitrat memiliki konstanta dielektrik yang sedang yaitu 6.2, sehingga ia bisa melarutkan baik senyawa polar seperti garam anorganik dan gula maupun senyawa non-polar seperti minyak dan unsur-unsur seperti sulfur dan iodin termasuk logam berat di dalamnya. Asam sitrat bercampur dengan mudah dengan pelarut polar atau nonpolar lainnya seperti air, kloroform dan heksana. Sehingga sifat kelarutan dan kemudahan bercampur dari asam sitrat ini digunakan sebagai pelarut logam berat timbal. Sifat toksik logam berat terikat dalam gugus sulfhidril (-

SH) dalam enzim seperti karboksil sisteinil, histidil, hidroksil, dan fosfatil dari protein dan purin (Soemirat, 2003).

Toksisitas dan sifat letal logam berat pada tubuh biota air dapat dihilangkan dengan penambahan larutan asam sitrat. Terjadinya reaksi antara zat pengikat logam (asam jeruk nipis) dengan ion logam menyebabkan ion logam kehilangan sifat ionnya dan mengakibatkan logam berat tersebut kehilangan sebagian besar toksisitasnya (Ganiswarna, 1995).

Asam sitrat terdapat pada berbagai jenis buah dan sayuran, namun ditemukan pada konsentrasi tinggi, yang dapat mencapai 8 % bobot kering, pada jeruk lemon dan limau misalnya jeruk nipis. Rumus kimia asam sitrat adalah $C_6H_8O_7$ atau $CH_2(COOH)-COH(COOH)-CH_2(COOH)$, Struktur asam ini tercermin pada nama IUPAC-nya, asam *2-hidroksi-1,2,3-propanatrikarboksilat* (Poedjiadi,2005). Widiyanti (2010) menambahkan asam sitrat bersifat korosif terhadap banyak logam seperti besi, magnesium, seng, dan cadmium, yang membentuk gas hidrogen dan garam-garam sitrat (logam sitrat).



Gambar 2.3 Rumus Bangun Asam Sitrat

Logam berat yang telah masuk ke dalam tubuh dapat mengikat gugus aktif yang esensial bagi tubuh. Namun dengan adanya suatu senyawa kimia tertentu yang mampu berikatan dengan suatu logam dan membentuk kompleks, maka dampak toksik logam dapat dihindarkan (Poedjiadi, 2005). Senyawa kimia ini disebut dengan *chelating agent*. Asam cuka, asam jawa, dan jeruk nipis mempunyai gugus karboksilat dan hidroksil sehingga dapat dimanfaatkan sebagai *chelating agent* (Sari, 2005).

2.4 Pengaruh Bahan Alam Dalam Menurunkan Logam Berat

Aprilliasari (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh konsentrasi asam sitrat dan lama perendaman terhadap logam berat timbal (Pb) serta menentukan kombinasi perlakuan terbaik untuk menghasilkan tepung kupang merah (*Musculita senhausia*) dengan kandungan logam berat timbal (Pb) minimum dan nilai gizi yang masih tinggi. Penelitian tersebut menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial yang terdiri dari 2 faktor dengan 2 kali ulangan, faktor I adalah konsentrasi asam sitrat (0%, 3,3%, 5,3%, 7,3%) dan faktor II adalah lama perendaman (30 menit, 60 menit dan 90 menit). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan terbaik terdapat pada perlakuan konsentrasi asam sitrat 3,3% dan lama perendaman 30 menit.

Fitri (2010) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh konsentrasi asam sitrat dan lama perendaman terhadap kualitas fisik, kimia dan organoleptik

saus kupang merah. Metode penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial dengan dua faktor dan tiga kali ulangan. Faktor pertama : konsentrasi asam sitrat (0%, 2,5%, 5% dan 7,5%) dan faktor kedua : lama perendaman (30 menit, 60 menit dan 90 menit). Hasil penelitian menunjukkan perlakuan konsentrasi 2,5% dan lama perendaman 60 menit menghasilkan saus kupang merah yang dapat diterima konsumen dengan kadar cadmium 0,038%.

Kumalasari (2012) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh sari belimbing wuluh terhadap kadar timbal (Pb) pada kupang. Dari 6 sampel, masing-masing sampel mendapatkan 4 perlakuan, yaitu satu tanpa perlakuan dan tiga mendapat perlakuan (direndam dalam sari belimbing wuluh dengan variasi lama perendaman). Dari hasil pemeriksaan dengan menggunakan *Spektrofotometer Serapan Atom Graphite Furnace* didapatkan rata-rata kadar timbal (Pb) pada kupang tanpa perendaman dalam sari belimbing wuluh sebesar 12,35 ppm, dan setelah dilakukan perendaman dalam sari belimbing wuluh kadar timbal (Pb) pada kupang yang direndam selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit berturut-turut yaitu sebesar 8,04 ppm, 4,67 ppm, dan 3,79 ppm.