

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan tentang Keong Sawah (*Pila ampullacea*)

2.1.1 Keong Sawah (*Pila ampullacea*)

Keong sawah (*Pila ampullacea*) adalah sejenis siput air yang mudah dijumpai di perairan tawar Asia Tropis, seperti di sawah, aliran parit, serta danau. Hewan bercangkang ini dikenal pula sebagai keong godang, siput sawah, siput air, atau tutut. Bentuknya agak menyerupai siput murbai, masih berkerabat tetapi keong sawah (*Pila ampullacea*) memiliki warna cangkang hijau pekat hingga hitam. Binatang ini lebih menyukai perairan jernih dan bersih. Seperti anggota *Ampullariidae* lainnya, keong sawah (*Pila ampullacea*) memiliki semacam penutup atau pelindung tubuhnya yang lunak yang digunakan untuk menyembunyikan diri. Selain itu, cangkang keong sawah (*Pila ampullacea*) merupakan sumber kalsium alami dan banyak tersedia di negara Indonesia (Winata, 2012).

Hewan ini dikonsumsi secara luas di berbagai wilayah Asia Tenggara dan memiliki nilai gizi yang baik karena mengandung protein yang cukup tinggi. Hasil uji proksimat di Institut Pertanian Bogor menunjukkan bahwa keong mas memiliki kandungan gizi yang cukup tinggi, dimana setiap 100 gram daging keong mengandung energi makanan sebanyak 83 kalori, protein 12,2 gram, lemak 0,4 gram, karbohidrat 6,6 gram, abu 3,2 gram, fosfor 61 mg, natrium 40 mg, kalium 17 mg, riboflavin 12 mg, niacin 1,8 mg serta kandungan nutrisi makanan yang lain seperti Vitamin C, Zn, Cu, Mn dan Iodium.



Gambar 2.1 Keong sawah (*Pila ampullacea*) (Anonim, 2017)

Keong sawah (*Pila ampullacea*) bersifat herbivora yang memakan tumbuhan, tanaman yang disukai adalah tanaman yang masih muda dan lunak seperti bibit padi, tanaman sayuran, dan enceng gondok. Daging keong sawah (*Pila ampullacea*) dapat digunakan sebagai pakan ikan. habitat keong sawah (*Pila ampullacea*) apabila dalam keadaan kekurangan air akan membenamkan diri pada lumpur yang dalam, hal ini dapat bertahan selama 6 bulan. Tempat keong sawah (*Pila ampullacea*) hidup biasanya di kolam, rawa, sawah dan tempat-tempat yang selalu tergenang oleh air. (Kuswanto, 2013).

2.1.2 Klasifikasi Keong sawah (*Pila ampullacea*)

Menurut Delvita, Djamas, dan Ramli (2015), klasifikasi keong sawah (*Pila ampullacea*) adalah sebagai berikut :

Kingdom : Animalia
 Phylum : Mollusca
 Class : Gastropoda
 Ordo : Ampullarioidae
 Family : Ampullariidae
 Genus : Pila

Spesies : *Pila ampullacea*

2.1.3 Morfologi Keong sawah (*Pila ampullacea*)

Gastropoda pada umumnya memiliki kepala yang jelas dengan mata pada ujung tentakel. Gastropoda benar – benar bergerak selambat bekicot secara harfiah dengan gerakan kaki yang bergelombang atau dengan silia, seringkali meninggalkan jejak lendir ketika lewat. Kebanyakan Gastropoda menggunakan radulanya untuk memakan alga atau tumbuhan, akan tetapi beberapa kelompok merupakan pemangsa, dan radulanya termodifikasi untuk mengebor lubang pada cangkang Moluska lain atau untuk mencabik – cabik mangsa. Pada siput konus, gigi radula berfungsi sebagai panah racun yang digunakan untuk melumpuhkan mangsa (Campbell 2-8).

2.1.4 Manfaat Keong Sawah (*Pila ampullacea*)

Menurut Hardiyanto Hartono (2012) manfaat dari keong sawah diantaranya:

- 1) Keong sawah kaya akan protein, tetapi rendah lemak sehingga dapat dijadikan sebagai alternatif makanan tinggi protein yang rendah lemak. Protein menunjang keberadaan setiap sel tubuh dan juga berperan dalam proses kekebalan tubuh. Konsumsi protein hewani dalam makanan sehari-hari diperlukan oleh tubuh di samping protein nabati.
- 2) Lemak yang terdapat dalam keong merupakan asam lemak essensial dalam bentuk asam linoleat dan asam linolenat. Sebuah studi di Brazil menunjukkan bahwa lemak dalam keong sawah merupakan asam lemak tidak jenuh yang dapat menurunkan kadar kolesterol darah.

3) Kandungan vitamin pada keong sawah cukup tinggi dengan dominasi vitamin A, vitamin E, niacin dan folat. Vitamin A berperan dalam pembentukan indra penglihatan yang baik, menjaga kesehatan kulit dan imunitas tubuh. Niacin atau vitamin B3 berperan penting dalam metabolisme karbohidrat, menjaga kadar gula darah, tekanan darah tinggi, penyembuhan migrain, dan vertigo. Vitamin E berperan dalam menjaga kesehatan berbagai jaringan di dalam tubuh, mulai dari jaringan kulit, mata, sel darah merah hingga hati.

4) Folat berfungsi membantu pembentukan sel darah merah, mencegah anemia, dan sebagai bahan pembentukan bahan genetik sel.

5) Mineral merupakan zat yang berperan penting pada tubuh manusia untuk pengaturan kerja enzim-enzim, pemeliharaan keseimbangan asam-basa, membantu pembentukan ikatan yang memerlukan mineral seperti pembentukan haemoglobin. Kandungan mineral yang utama pada keong sawah berupa kalsium, zat besi, magnesium, kalium dan fosfor.

2.1.5 Kandungan Gizi Keong Sawah (*Pila ampullacea*)

Keong sawah atau Tutut ternyata menyimpan kandungan gizi tinggi, menurut Positive Deviance Resource Centre khasiatnya ini karena keong sawah mengandung kandungan protein 12% , kalsium 217 mg, rendah kolesterol, 81 gram air dalam 100 gram keong sawah, dan sisanya mengandung energi, protein, kalsium, karbohidrat, dan fosfor.

Kandungan vitamin pada keong sawah cukup tinggi, dengan dominasi vitamin A, E, niacin dan folat. Keong sawah juga mengandung zat gizi makronutrien berupa protein dalam kadar yang cukup tinggi pada tubuhnya. Berat

daging satu ekor keong sawah dewasa dapat mencapai 4-5 gram. Sebuah penelitian yang dipublikasikan dalam *Journal of Environmental Science, Toxicology, and Food Technology* pada Januari 2013 menyebutkan bahwa keong sawah sebenarnya memiliki kandungan nutrisi dan gizi yang tinggi. Bahkan, kandungan kalsiumnya lebih dari susu. Penelitian yang dilakukan oleh para ilmuwan dari *University of Agriculture, Makurdi, Nigeria* tersebut menyebutkan bahwa di Afrika Barat dan Eropa, Afrika Barat, dan Asia.

Para peneliti kemudian meneliti kandungan nutrisi yang lebih lengkap pada hewan tersebut dengan memisahkan daging dari cangkangnya. Selanjutnya, daging tersebut didehidrasi dalam oven bersuhu 60 derajat celcius selama 24 jam. Hasilnya kemudian digiling hingga menjadi bubuk. Bubuk inilah yang kemudian dianalisis untuk mendapatkan kandungan nutrisi dan gizi keong sawah. Hasil dari analisis tersebut menunjukkan bahwa keong sawah memiliki kandungan air 76,32 persen, sedangkan protein yang dimiliki mencapai 10,40 persen. Penelitian sebelumnya telah menyebutkan bahwa asam amino dalam protein siput dapat digunakan untuk melengkapi sereal sumber protein yang membuat (orang) kekurangan lisin lebih baik. Selain protein, keong sawah juga mengandung serat kasar sekitar 0,01 persen. Hal ini disebabkan oleh aktivitas berenang keong dalam air yang lebih berat daripada merangkak di darat. Kemudian, jumlah lipid keong sawah hanya 0,09 persen, lebih rendah dibandingkan dengan hewan lainnya. Ini membuktikan bahwa penggunaan keong sawah ampuh untuk pengobatan hipertensi. Tak hanya itu, kandungan mineral pada keong sawah juga bisa terbilang tinggi, apalagi jika dibandingkan dengan siput darat. Mineral yang terkandung dalam keong sawah di antaranya adalah fosfor 60,52 mg, kalsium 129,18 mg,

potasium 71, 13 mg, zat besi 10,90 mg, sodium 0,04 mg, magnesium 31,19 mg, dan zinc 1,31 mg. Semuanya dalam skala per 100 gram. Menariknya, kandungan kalsium dalam keong sawah ini lebih tinggi jika dibandingkan kalsium dalam daging sapi, telur, bahkan susu. Kandungan potasiumnya juga telah terbukti baik untuk keseimbangan cairan serta regulasi konduksi impuls saraf, detak jantung, dan metabolisme sel. Keong sawah juga mengandung zat besi yang tinggi dan dipercaya membantu pembentukan darah merah. "Unsur ini penting untuk pembentukan darah merah, dan karena zat besi (dalam keong sawah) bersifat akuatik maka bisa direkomendasikan untuk wanita hamil dan anak-anak.

2.2 Tinjauan tentang Pupuk Fosfat

Pupuk P dikelompokkan dalam tiga kelompok berdasarkan kelarutannya yaitu : (a) Pupuk P yang melarut kedalam asam keras (mengandung P_2O_5 , merupakan pupuk P yang lambat tersedia bagi keperluan tanaman) (b) Pupuk P yang melarut dengan ammonium nitrat netral atau asam sitrun (mengandung P_2O_5 , merupakan pupuk yang mudah tersedia bagi keperluan tanaman) (c) Pupuk P yang melarut dalam air (mengandung P_2O_5 , juga merupakan pupuk P yang mudah tersedia bagi tanaman) (Sutedjo, 2002).

Di dalam batuan fosfat alam terkandung berbagai unsur seperti Ca, Mg, Al, Fe, Si, Na, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cd, Hg, Cr, Pb, As, U, V, F, Cl. Unsur utama di dalam fosfat alam antara lain P, Al, Fe, dan Ca. Secara kimia, fosfat alam didominasi oleh Ca-P atau Al-P dan Fe-P sedangkan unsur lain merupakan unsur ikutan yang bermanfaat dan sebagian lain kurang bermanfaat bagi tanaman (Sutriadi dkk , 2010).

Pada fosfat alam Vietnam dan Cileungsi kandungan logam berat Cd (*Cadmium*) tergolong kedalam kriteria kecil sehingga tidak terukur, pada fosfat alam China Huinan, China Guizhou, Mesir dan Jordan kandungan logam berat Cd (*Cadmium*) tergolong kedalam kriteria sedang yaitu sebesar 2-9 mg/kg sedangkan pada fosfat alam Christmas, Tunisia, Senegal, Maroko, Algeria, Maroko, Senegal, Togo, Ciamis 1, Ciamis 2, Sukabumi, dan pupuk SP-36 kandungan logam berat Cd termasuk kedalam kriteria tinggi yaitu sebesar 11-113 mg/kg. Hasil penelitian di Amerika Serikat membuktikan bahwa pemupukan fosfat dari batuan apatit asal Florida meningkatkan kadar Cd tanah 0,3-1,2 g Cd/ha/tahun (Alloway, 1995).

Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa pupuk fosfat mengandung rata-rata kandungan logam berat Cd (*Cadmium*) 7 ppm. Apabila pupuk tersebut digunakan secara terus menerus dengan dosis dan intensitas yang tinggi dapat meningkatkan logam berat Cd (*Cadmium*) yang tersedia dalam tanah sehingga meningkatkan serapan logam berat Cd (*Cadmium*) oleh tanaman (Charlena, 2004).

Fosfat alam merupakan sumber P yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri seperti pupuk P yang mudah larut (antara lain TSP, SP-18, SSP, DAP, MOP). Industri pupuk menggunakan sekitar 90% fosfat alam yang diproduksi di dunia. Fosfat alam dari deposit batuan sedimen sebagian besar telah mempunyai reaktivitas yang cukup memadai untuk tanaman pangan dan perkebunan. Sedangkan fosfat alam dari batuan beku mempunyai reaktivitas yang rendah sehingga perlu diasamkan dulu untuk digunakan sebagai pupuk (Sutriadi, dkk, 2010).

Prinsip pemupukan fosfor (P) yang perlu diperhatikan adalah kandungan P dalam tanah. Pada tanah yang mempunyai kandungan P tinggi, pemupukan P

dimaksudkan hanya untuk memenuhi atau mengganti P yang diangkut oleh tanaman padi, sedangkan pada tanah yang mempunyai kandungan P sedang dan rendah, pemupukan P selain untuk menggantikan P yang terangkut tanaman juga untuk meningkatkan kadar P tanah sehingga diharapkan pada waktu yang akan datang kandungan P tanah (status P tanah) berubah dari rendah dan sedang menjadi tinggi. Dengan kata lain pemupukan P yang lebih tinggi dari kebutuhan tanaman dapat memperkaya tanah (Sofyan, Nursyamsi, dan Amien, 2002).

Fosfor diambil oleh akar dalam bentuk H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} sebagian besar fosfor di dalam tanaman adalah sebagai zat pembangun dan terikat dalam senyawa-senyawa organik dan hanya sebagian kecil terdapat dalam bentuk anorganik sebagai ion-ion phosphat. Beberapa bagian tanaman sangat banyak mengandung zat ini, yaitu bagian-bagian yang bersangkutan dengan pembiakan generatif, seperti daun-daun bunga, tangkai sari, kepala sari, butir tepung sari, daun buah dan bakal biji. Jadi untuk pembentukan bunga dan buah sangat banyak diperlukan unsur fosfor (Sugih, 2011).

Serapan P sangat tergantung pada kontak akar dengan P dalam larutan tanah. Berarti besaran volume akar yang berkontak dengan besaran kepekatan P tanaman. Sebaran akar di dalam tanah sangat penting dalam meningkatkan serapan P dan bobot kering tanaman terutama bila kepekatan P rendah dalam media tumbuh (Hakim dan Agustian, 2005).

2.3 Tinjauan tentang Logam Berat Cd (*Cadmium*)

2.3.1 Definisi Logam Berat Cd (*Cadmium*)

Logam berat Cd (*Cadmium*) merupakan logam yang bernomor atom 48 dan massa atom 112,4, titik leleh 321°C, titik didih 767°C, dan memiliki massa jenis 8,65 g/cm³. Logam ini termasuk dalam logam transisi pada periode V dalam tabel periodik. Logam berat Cd (*Cadmium*) adalah logam berwarna putih perak, lunak, mengkilap, tidak larut dalam basa, mudah bereaksi serta menghasilkan kadmium oksida bila dipanaskan. Logam berat Cd (*Cadmium*) umumnya terdapat dalam kombinasi dengan klor atau belerang (Istarani dan Pandebesie, 2014).

Kemelimpahan logam berat Cd (*Cadmium*) pada kerak bumi adalah 0,13 µg/g. Pada lingkungan akuatik, logam berat Cd (*Cadmium*) relatif bersifat mudah berpindah. Logam berat Cd (*Cadmium*) memasuki lingkungan akuatik terutama dari deposisi atmosferik dan efluen pabrik yang menggunakan logam ini dalam proses kerjanya. Di perairan umumnya logam berat Cd (*Cadmium*) hadir dalam bentuk ion-ionnya yang terhidrasi, garam-garam klorida, terkomplekskan dengan ligan anorganik atau membentuk kompleks dengan ligan organik (Weiner, 2008).

Logam berat Cd (*Cadmium*) di sedimen perairan yang tak terkontaminasi berkisar antara 0,1 sampai 1,0 µg/g bobot kering. Pada umumnya di air permukaan, baik logam berat Cd (*Cadmium*) terlarut maupun partikulatnya secara rutin dapat terdeteksi. Koefisien distribusi logam berat Cd (*Cadmium*) partikulat/ logam berat Cd (*Cadmium*) terlarut pada perairan sungai di dunia berkisar dari 104 sampai 105. Fluks input antropogenik secara global per tahun jauh melebihi emisi Cd dari sumber alamiahnya seperti kegiatan gunung berapi, Windborne soil particles, garamgaram dari laut dan partikel biogenik sampai dengan satu tingkatan magnitude (Csuros, 2002).

2.3.2 Karakteristik Kimia Logam Berat Cd (*Cadmium*)

Logam berat Cd (*Cadmium*) merupakan unsur yang banyak tersebar secara alami dalam bentuk mineral dan digunakan secara umum dalam bentuk bijih kadmium, yang dinamakan *greenockite*, yang biasanya ditemukan bersama bijih zink. Produksi komersial bijih kadmium bergantung pada tambang zink. Secara umum logam berat Cd (*Cadmium*) tersedia dalam bentuk oksida, klorida atau sulfida. Logam berat Cd (*Cadmium*) dimurnikan dari bentuk bijih menjadi logam berat yang berwarna putih keperakan dengan sedikit kebiruan cemerlang dan berbentuk padat pada suhu ruangan (ATSDR, 2008).

Logam berat Cd (*Cadmium*) tahan terhadap perkaratan sehingga digunakan sebagai lapisan anti karat. Logam berat Cd (*Cadmium*) dan oksidasinya tidak larut dalam air dan biasanya terdapat pada keadaan oksidasi +2. Meskipun tidak larut dalam air, logam berat Cd (*Cadmium*) dapat melarut dalam larutan asam nitrit, amonium nitrat dan asam sulfur panas. Dalam udara lembab, logam berat Cd (*Cadmium*) teroksidasi secara lambat. Bila dipanaskan logam berat Cd (*Cadmium*) akan berubah menjadi gas buangan dalam bentuk kadmium oksida. Logam berat Cd (*Cadmium*) dan senyawa kadmium tidak mudah terbakar namun dapat terurai bila dibakar dan melepaskan gas buangan yang bersifat korosif dan toksik (ATSDR 1999).

2.3.3 Sumber Logam Berat Cd (*Cadmium*)

Logam berat Cd (*Cadmium*) tersebar luas di lingkungan namun merupakan unsur yang jarang ditemukan di kerak bumi, dengan konsentrasi 0,1 sampai 0,5 ppm, dalam bentuk mineral sulfida yang berikatan dengan bijih zink, zink yang berikatan dengan bijih timbal, dan kompleks bijih zink-timbal-tembaga. Kadmium

merupakan unsur alami di lautan dengan kandungan antara 5 sampai 110 ng/L dengan kandungan tertinggi di daerah pantai dan di dalam fosfat dan fosforit lautan. Sementara di sedimen dan air laut adalah sekitar 0.1 ppm (Morrow, 2001).

Logam berat Cd (*Cadmium*) terbentuk secara alami dari proses yang lambat dari erosi dan abrasi bebatuan dan tanah (Nikic et al., 2009). Emisi alami kadmium ke lingkungan dapat berasal dari letusan gunung berapi, kebakaran hutan, pembentukan aerosol garam laut dan fenomena alami lainnya (Shevchenko et al. 2003). Konsentrasi kadmium di atmosfer adalah sekitar 1-5 ng/m³ (ATSDR, 2008).

Konsentrasi logam berat Cd (*Cadmium*) yang cukup tinggi dapat terjadi akibat adanya aktifitas manusia. Sumber dari aktifitas manusia tersebut antara lain adalah adanya penggunaan pupuk fosfat, pembakaran bahan bakar fosil, produksi besi, baja, dan logam non besi, produksi semen dan pembakaran sampah. Sumber antropogenik berkontribusi terhadap paparan pada manusia dalam jumlah yang cukup besar akibat produksi, pemakaian, dan pembuangan serta pembakaran produk-produk yang mengandung kadmium (Bull, 2010).

Logam berat Cd (*Cadmium*) secara luas tersebar di lingkungan melalui udara yang bersumber dari pertambangan dan peleburan logam. Sumber pencemaran logam berat Cd (*Cadmium*) lainnya di udara adalah dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara atau minyak dan pembakaran limbah padat seperti plastik dan baterai nikel kadmium (dapat terdeposit menjadi limbah padat). Logam berat Cd (*Cadmium*) juga mencemari udara dari proses produksi besi dan baja. Logam berat Cd (*Cadmium*) secara umum digunakan untuk penyepuhan logam, memproduksi pigmen, baterai nikel-kadmium, stabilisator plastik dan sebagai absorben neutron pada fasilitas reaktor nuklir (Sahmoun et al. 2005).

2.3.4 Kontaminasi Logam Berat Cd (*Cadmium*) ke Lingkungan

Senyawa logam berat Cd (*Cadmium*) yang seukuran dengan partikel yang dapat terhisap ke saluran nafas, dapat terbawa ke daerah yang sangat jauh apabila dilepaskan dari sumbernya ke atmosfer. Logam berat Cd (*Cadmium*) kemudian akan turun ke tanah akibat hujan atau jatuh dari udara. Saat berada di tanah, logam berat Cd (*Cadmium*) dapat dengan mudah bergerak melalui lapisan-lapisan tanah dan masuk ke rantai makanan karena terserap oleh tumbuh-tumbuhan seperti sayuran, kacang-kacangan, dan biji-bijian (ATSDR, 2008).

Konsentrasi logam berat Cd (*Cadmium*) dalam sumber air minum biasanya kurang dari 1 µg/L atau 1 part per billion (ppb). Air tanah jarang mengandung logam berat Cd (*Cadmium*) dalam konsentrasi tinggi bila tidak terkontaminasi oleh pertambangan atau limbah cair industri, atau rembesan dari tempat penampungan limbah berbahaya. Kandungan kadmium akan meningkat dalam air yang tertahan di pipa-pipa saluran di rumah tangga. Sumber-sumber ini bukanlah penyebab keracunan logam berat Cd (*Cadmium*) klinis, namun meskipun kadarnya rendah, kontaminasi tersebut dapat menambah akumulasi logam berat Cd (*Cadmium*) dalam tubuh (ATSDR, 2008).

2.3.5 Logam Berat Cd (*Cadmium*) dalam Rantai Makanan

Keberadaan logam berat Cd (*Cadmium*) dalam lingkungan secara berlebihan akan menimbulkan dampak yang luas baik secara langsung maupun tidak langsung, sebab logam berat Cd (*Cadmium*) mudah diabsorpsi dan terakumulasi oleh tubuh organisme. Air limbah yang mengandung logam berat Cd

(*Cadmium*) dapat diakumulasi oleh tumbuhan dan biota perairan apabila dikonsumsi manusia di atas tingkat tertentu dapat menyebabkan kerusakan pada hati, kerusakan ginjal, anemia, dan hipertensi (Fauzi dkk, 2015).

Penyerapan logam berat Cd (*Cadmium*) lebih tinggi jika dibandingkan dengan penyerapan logam berat jenis lain seperti timbal dan merkuri (Satarug *et al*, 2003). Logam berat Cd (*Cadmium*) juga ditemukan dalam daging, khususnya hati dan ginjal. Di daerah-daerah tertentu, konsentrasi logam berat Cd (*Cadmium*) meningkat dalam kerang dan jamur (Jarup, 2002).

2.3.6 Jalur Paparan Logam Berat Cd (*Cadmium*)

Saluran nafas adalah jalur utama masuknya logam berat Cd (*Cadmium*) dalam tubuh di lingkungan kerja. Kandungan logam berat Cd (*Cadmium*) di udara dapat mencapai ribuan kali lebih tinggi di lingkungan kerja bila dibandingkan dengan lingkungan biasa. Sebagai contoh, batas paparan logam berat Cd (*Cadmium*) yang diijinkan di tempat kerja adalah 0.1 mg/m³, sedangkan konsentrasi kadmium di udara ambien di daerah non industri adalah 1 x 10⁻⁶ mg/m³ dan di perkotaan adalah 4 x 10⁻⁵ mg/m³. Oleh sebab itu, paparan yang tidak berada di lingkungan kerja tidak dianggap berisiko pada gangguan kesehatan (ATSDR 2008).

Perokok pada umumnya terpapar logam berat Cd (*Cadmium*) melalui inhalasi. Dalam sebatang rokok terdapat 2 µg logam berat Cd (*Cadmium*), dimana hampir sebanyak 2-10% nya berubah menjadi asap rokok. Perokok umumnya memiliki kandungan logam berat Cd (*Cadmium*) dalam darah dan kandungan dalam tubuh dua kali lebih tinggi dibandingkan dengan orang yang tidak merokok. Selain

itu, perokok juga akan memiliki kandungan logam berat Cd (*Cadmium*) yang tinggi dalam urin (Mannino *et al.* 2004).

Asupan oral adalah jalur utama pajanan logam berat Cd (*Cadmium*) bagi populasi yang bukan perokok. Tetapi, kandungan logam berat Cd (*Cadmium*) dalam makanan, air, dan udara ambien bukan merupakan masalah kesehatan yang nyata bagi populasi di Amerika Utara. Asupan logam berat Cd (*Cadmium*) per harinya adalah sebesar 30-50 μg (NTP, 2004) namun individu normal hanya menyerap sebagian kecil yaitu sekitar 1-10% dari dosis oral (Horiguchi *et al.* 2004).

Pada daerah tertentu ditemukan kandungan logam berat Cd (*Cadmium*) yang sangat tinggi pada permukaan tanahnya. Penyerapan logam berat Cd (*Cadmium*) oleh tumbuhan di wilayah ini mengakibatkan pajanan yang signifikan bagi masyarakat yang tinggal di daerah itu. Contohnya, di aliran sungai Jinzu dan Kakehashi di Jepang, terdapat wilayah-wilayah dengan tanah yang terkontaminasi logam berat Cd (*Cadmium*). Padi menyerap logam berat Cd (*Cadmium*) dan akibat dari mengonsumsi padi yang terkontaminasi logam berat Cd (*Cadmium*) menyebabkan gangguan ginjal dan tulang yang serius yang dinamakan penyakit “Itai-Itai”, khususnya pada perempuan (Kobayashi *et al.* 2006). Pajanan logam berat Cd (*Cadmium*) melalui kulit sangat sedikit sehingga dapat diabaikan. Pajanan ini tidak dianggap sebagai jalur utama pajanan (ATSDR, 2008).

2.3.7 Kinetika Logam Berat Cd (*Cadmium*) dalam Tubuh

Absorpsi logam berat Cd (*Cadmium*) tergantung dari beberapa faktor, di antaranya : usia, jenis kelamin, kebiasaan merokok, dan status gizi. Logam berat Cd (*Cadmium*) merupakan salah satu toksin yang dapat terakumulasi, akan

mengakibatkan kandungannya dalam tubuh akan bertambah sesuai dengan usia. Kandungan logam berat Cd (*Cadmium*) dalam darah perempuan lebih tinggi dibandingkan laki-laki. Perempuan dengan kadar besi yang rendah, diyakini berisiko terhadap absorpsi logam berat Cd (*Cadmium*) yang cukup besar setelah terpapar secara oral. Sebanyak 10% sampai 50% dari logam berat Cd (*Cadmium*) yang terhirup akan diabsorpsi, tergantung pada ukuran partikel, kelarutan senyawa logam berat Cd (*Cadmium*) yang terinhalasi, dan lama pajanan (Jarup, 2002). Absorpsi sangat sedikit pada partikel logam berat Cd (*Cadmium*) yang berukuran besar (lebih dari 10 μm) dan tidak larut air, sebaliknya bila ukuran partikel kurang dari 0.1 μm dan mudah larut air, absorpsi akan lebih besar. Absorpsi logam berat Cd (*Cadmium*) dari asap rokok sangat tinggi karena partikel logam berat Cd (*Cadmium*) yang terdapat dalam asap rokok berukuran sangat kecil (ATSDR, 1999).

Asupan logam berat Cd (*Cadmium*) secara oral pada individu yang sehat dapat menyerap sekitar 6% logam berat Cd (*Cadmium*) yang tertelan melalui saluran cerna, namun bagi orang yang memiliki defisiensi besi absorpsi logam berat Cd (*Cadmium*) dapat mencapai 9% (ATSDR, 1999). Logam berat Cd (*Cadmium*) dalam air jauh lebih mudah diabsorpsi dibanding logam berat Cd (*Cadmium*) dalam makanan (5% dalam air dan 2% dalam makanan) (US EPA, 2006). Keberadaan kromium dan zink pada konsentrasi yang tinggi dalam makanan dapat menurunkan uptake logam berat Cd (*Cadmium*).

Logam berat Cd (*Cadmium*) dalam tubuh dibuang melalui urin. Kecepatan ekskresi logam berat Cd (*Cadmium*) rendah, disebabkan logam berat Cd (*Cadmium*) masih terikat erat dengan metallothionein yang diabsorpsi hampir seluruhnya

dalam tubulus ginjal. Akumulasi logam berat Cd (*Cadmium*) dalam tubuh dapat bermakna, karena ekskresinya yang rendah. Konsentrasi logam berat Cd (*Cadmium*) dalam darah merefleksikan pajanan yang baru terjadi, sedangkan logam berat Cd (*Cadmium*) urin lebih menunjukkan kandungan total logam berat Cd (*Cadmium*) dalam tubuh. Namun demikian, saat terjadi kerusakan ginjal akibat pajanan logam berat Cd (*Cadmium*), kecepatan ekskresi akan meningkat secara tajam, dan konsentrasi logam berat Cd (*Cadmium*) tidak lagi merefleksikan kandungan logam berat Cd (*Cadmium*) dalam tubuh (ATSDR, 2008).

Waktu paruh logam berat Cd (*Cadmium*) dalam ginjal diperkirakan sekitar 6 sampai 38 tahun, sedangkan dalam hati sekitar 4 sampai 19 tahun (ATSDR, 1999). Sementara itu, Nordberg et al. (2007) memperkirakan waktu paruh logam berat Cd (*Cadmium*) adalah 7 (tujuh) sampai 16 tahun. Waktu paruh yang panjang menunjukkan bahwa manusia tidak mempunyai jalur ekskresi yang efektif untuk membuang logam berat Cd (*Cadmium*). Logam berat Cd (*Cadmium*) dikenal tidak memiliki fungsi biologis pada manusia. Akumulasi logam berat Cd (*Cadmium*) yang berlebihan dalam tubuh dianggap berpotensi toksik.

2.3.8 Mekanisme Toksisitas Logam Berat Cd (*Cadmium*)

Pada pajanan dari sistem respirasi, logam berat Cd (*Cadmium*) sangat efisien diabsorpsi dari paru-paru. Pada kisaran 40 – 60 % logam berat Cd (*Cadmium*) yang diinhalasi akan sampai ke sirkulasi sistemik. Pada pajanan oral, absorpsi logam berat Cd (*Cadmium*) dari sistem pencernaan sangat rendah hanya 5 – 10%. Namun demikian, dengan pajanan dalam waktu yang lama, meskipun dengan konsentrasi absorpsi dari saluran gastrointestinal yang rendah, dapat mengakibatkan akumulasi logam berat Cd (*Cadmium*) secara sistemik dan berlanjut

dengan terjadinya kerusakan organ. Logam berat Cd (*Cadmium*) yang diabsorpsi ke dalam pembuluh darah, baik yang berasal dari paru-paru atau saluran cerna, akan terkonsentrasi di dalam sel darah (terutama eritrosit, tapi juga leukosit), hanya sekitar 10% yang tertinggal di plasma darah. Oleh sebab itu, pemantauan sampel darah untuk tingkat pajanan logam berat Cd (*Cadmium*) akan mengikutsertakan analisis darah lengkap. Selain itu, penting juga untuk diketahui bahwa pada dasarnya seluruh logam berat Cd (*Cadmium*) yang berada di plasma darah terikat pada protein dan molekul lain. Logam berat Cd (*Cadmium*) di plasma dapat juga terikat pada protein spesifik yang mengikat logam yaitu metallothionein atau dapat beredar bebas dan bergabung dengan molekul-molekul seperti albumin, asam amino, senyawa sulfhidril, glutathion atau sistein. Daya afinitas logam berat Cd (*Cadmium*) terhadap metallothionein yang sangat kuat menyebabkan logam berat Cd (*Cadmium*) tidak dapat diambil oleh kebanyakan jaringan, namun kompleks kadmium-metallothionein dapat diambil oleh epitel tubulus proksimal (Klaassen *et al.*, 2009).

Logam berat Cd (*Cadmium*) yang diabsorpsi melalui pajanan oral pada awalnya akan ditransportasikan ke hati melalui sirkulasi portal dan akan masuk ke hepatosit (sel hati). Di dalam sel hati, logam berat Cd (*Cadmium*) akan menginduksi sintesa metallothionein, yang kemudian akan mengikat dan mengisolasi logam berat Cd (*Cadmium*), dengan cara demikian akan menahan dampak toksik logam berat Cd (*Cadmium*) di dalam sel. Namun, saat sel hati dimana terdapat logam berat Cd (*Cadmium*) yang diisolasi mati, apakah melalui turn over yang normal atau akibat kerusakan kadmium maka kompleks kadmium-metallothionein akan terlepas ke dalam pembuluh darah. Meskipun kompleks kadmium-metallothionein tidak

menyebabkan efek toksik bagi sebagian besar organ, kompleks ini akan difiltrasi di glomerulus dan diambil kembali oleh sel epitel tubulus proksimal, efeknya adalah kadmium-metallothionein memiliki efek paradox yang mempermudah mengantarkan logam berat Cd (*Cadmium*) dari hati ke ginjal (Bridges dan Zalups, 2005).

Setelah logam berat Cd (*Cadmium*) diambil oleh sel epitel tubulus proksimal, kompleks kadmium-metallothionein awalnya terakumulasi di dalam lisosom, dimana kompleks ini akan didegradasi, mengakibatkan logam berat Cd (*Cadmium*) akan dibebaskan di dalam sel. Pelepasan Cd^{2+} akan dengan cepat bergabung dengan group sulfhidril intraseluler, baik yang berada pada protein atau dengan senyawa berat molekul yang rendah seperti glutation. Interaksi logam berat Cd (*Cadmium*) dengan group sulfhidril dapat menyebabkan perubahan fungsi protein secara langsung dan mengakibatkan induksi stress oksidatif. Logam berat Cd (*Cadmium*) intraseluler menyebabkan perubahan fungsi tubulus proksimal dan merontokkan sel-sel yang rusak yang kemudian akan dibuang melalui urin. Rontoknya sel-sel yang mati atau yang mengalami kerusakan memicu proses perbaikan yaitu dengan terjadinya dediferensiasi sel-sel yang tidak mengalami injury dalam satu proses yang disebut pembentukan epitel mesenkim transformal. Sel yang ter-dediferensiasi bermigrasi menuju area yang sudah rontok dari membrane basal dan menggantikan sel-sel yang sudah mengalami kerusakan (Liu, *et al.*, 2009).

Organ utama yang dirusak oleh logam berat Cd (*Cadmium*) akibat pajanan kronis adalah ginjal dan tulang. Paru-paru merupakan organ target pada pajanan akut dosis tinggi melalui saluran pernafasan. Logam berat Cd (*Cadmium*) dikenal

dapat meningkatkan stres oksidatif melalui keberadaan katalis dalam pembentukan spesies oksigen reaktif, meningkatkan peroksidasi lemak, dan menurunkan glutathione dan grup sulfhydryl yang terikat protein. Logam berat Cd (*Cadmium*) juga dapat menstimulasi produksi sitokin inflamasi dan menurunkan fungsi protektif dari pembentukan nitrit oksida (Navas-Acien *et al.* 2004).

Logam berat Cd (*Cadmium*) mengekspresikan aktifitas genotoksik in vitro dalam sel dan in vivo pada hewan. Bukti epidemiologi untuk genotoksisitas pada manusia secara in vivo masih sangat terbatas. Penelitian okupasional menunjukkan peningkatan jumlah penyimpangan kromosom dalam limfosit pada pekerja yang terpajan logam berat Cd (*Cadmium*). Logam berat Cd (*Cadmium*) telah ditemukan menyebabkan kerusakan kromosom dalam studi eksperimen pada hewan yang diberikan secara subkutan (ATSDR, 1999).

2.3.9 Dampak Logam Berat Cd (*Cadmium*) terhadap Ginjal

Ginjal adalah target organ utama akibat pajanan kronik logam berat Cd (*Cadmium*). Kerusakan ginjal dapat terjadi akibat inhalasi atau ingesti. Dari hasil penelitian pada manusia menunjukkan bahwa pajanan logam berat Cd (*Cadmium*) selama lebih kurang sekitar 10 tahun dapat mengakibatkan kerusakan ginjal, tergantung intensitas pajanan. Pajanan logam berat Cd (*Cadmium*) yang kronik dihubungkan dengan disfungsi tubulus ginjal yang progresif. Tanda awal abnormalitas ginjal adalah ditemukannya proteinuria tubulus pada konsentrasi 2-4 µg/g kreatinin yaitu B2MG dan α1-mikroglobulin yang merupakan biomarker

kerusakan ginjal akibat pajanan kadmium. Enzimes N-acetyl-B-glucosaminidase (NAG) akan meningkat dalam urin dan tanda-tanda kerusakan glomerulus ginjal seperti peningkatan albumin dalam urin dan penurunan laju filtrasi glomerulus juga terlihat. Pada tingkat akhir kerusakan ginjal adalah adanya glycosuria, sisa kalsium dan fosfat dan gangguan metabolisme kalsium dengan efek sekunder pada tulang yaitu osteoporosis dan osteomalasia (Jarup *et al.* 2000).

Beberapa ahli percaya bahwa mikroproteinuria berkaitan dengan pajanan logam berat Cd (*Cadmium*) tidak selalu progresif meskipun setelah penghentian pajanan terjadi pada kandungan kadmium urin $> 4 \mu\text{g/g}$ kreatinin atau pada kondisi konsentrasi B2MG urin $> 1.000 \mu\text{g/g}$ kreatinin (Kobayashi *et al.* 2006).

Nefropati kadmium adalah penentu kematian yang penting pada pekerja kadmium. Efek toksik di ginjal berkaitan dengan dosis logam berat Cd (*Cadmium*). Bagi para pekerja, risiko nefropati klinis meningkat secara signifikan dengan total pajanan udara lebih besar dari 300 mg/m^3 , konsentrasi logam berat Cd (*Cadmium*) urin lebih dari $10 \mu\text{g/g}$ creatinine, dan konsentrasi kortek ginjal di atas 200 ppm. Tanda-tanda dini kerusakan ginjal yang telah dilaporkan dari populasi umum adalah konsentrasi kadmium urin antara 2-4 nmol/mmol kreatinin. Penelitian dalam Noonan *et al* (2002) telah melihat efek logam berat Cd (*Cadmium*) pada ginjal akibat pajanan lingkungan. Penelitian ini telah membuktikan bahwa meskipun terpajan logam berat Cd (*Cadmium*) dalam konsentrasi yang sangat rendah logam berat Cd (*Cadmium*) masih mengakibatkan efek yang merusak ginjal.

Noonan *et al.* (2002) melaporkan bahwa belum diketahui jika perubahan subklinis dini pada biomarker ginjal berhubungan dengan pajanan logam berat Cd (*Cadmium*) pada konsentrasi yang rendah memiliki hubungan dengan penurunan

fungsi ginjal. Paparan konsentrasi yang biasa diterima di lingkungan kerja dapat meningkatkan ekskresi protein berat molekul tinggi seperti albumin dan transferin yang merupakan tanda dini dari kerusakan glomerulus akibat paparan logam berat Cd (*Cadmium*).

Bila telah terjadi kerusakan pada glomerulus maka akan irreversible dan tingkat kerusakan akan tergantung pada dosis (Jarup, 2002). Laju Filtrasi Glomerulus (LFG) menurun dengan lambat berlangsung progresif, membuktikan bahwa logam berat Cd (*Cadmium*) mempercepat penurunan fungsi ginjal. Uremia jarang terjadi, namun kapasitas cadangan filtrasi menurun dapat ditunjukkan pada pekerja-pekerja yang terpapar logam berat Cd (*Cadmium*) dengan LFG dan kreatinin serum yang normal. Paparan logam berat Cd (*Cadmium*) juga mempermudah perkembangan glomerulopati pada populasi diabetik (Buchet et al. 1990). Paparan logam berat Cd (*Cadmium*) yang mencukupi dapat juga mengarah pada penurunan LFG dan gagal ginjal kronik yang ditandai oleh : aminoasiduria, glukosuria, hiperkalsiuria, hiperfosfaturia, dan poliuria (Jarup, 2002).

2.3.10 Nilai Standar untuk Paparan Logam Berat Cd (*Cadmium*)

WHO menentukan bahwa asupan logam berat Cd (*Cadmium*) yang masih dapat ditoleransi secara mingguan adalah 7µg/kg/berat badan/minggu. OSHA menetapkan paparan logam berat Cd (*Cadmium*) yang aman di lingkungan kerja adalah 5 µg/m³ (sebagai gas buangan). The National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) juga telah menentukan kandungan yang dapat membahayakan kehidupan dan kesehatan adalah 9 mg/m³ (NTP, 2004).

Di Indonesia, pemerintah melalui Peraturan Menteri Kesehatan di Tahun 2010, pemerintah menerbitkan Permenkes No. 492 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum dan menetapkan kadar maksimum logam berat Cd (*Cadmium*) dalam air minum adalah 0,003 mg/l. Sedangkan menurut BPOM tahun 2017 standar maksimum kadar logam berat Cd dalam makanan adalah 0,10 mg/kg.

2.3.11 Uji Laboratorium Logam Berat Cd (*Cadmium*) dengan AAS

Analisa logam berat dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometrik Serapan Atom (AAS) yang didasarkan pada hukum Lambert-Beer, yaitu banyaknya sinar yang diserap berbanding lurus dengan kadar zat. Oleh karena yang mengabsorpsi sinar adalah atom, maka ion atau senyawa logam berat harus diubah menjadi bentuk atom. Larutan standar sampel dimasukkan dalam tabung reaksi yang tersedia pada alat AAS, dilakukan pengaturan pada computer alat AAS penggunaanya, dihidupkan api dan lampu katoda AAS, posisi lampu juga diatur untuk memperoleh serapan maksimum. Kemudian diaspirasi larutan standar kedalam nyala udara asitelin, penunjukan hasil bacaan pengukuran harus nol. Secara berturut-turut larutan baku dianalisis menggunakan AAS, hasil pengukuran serapan atom akan dicatat kemudian dihitung untuk mendapatkan konsentrasi logam pada larutan contoh. Kadar logam berat akan dihitung berdasarkan nilai konsentrasi regresi yang ditampilkan pada AAS. Konsentrasi regresi diperoleh berdasarkan nilai regresi kurva kalibrasi (Supriatno dan Lelifajri, 2009)