

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah Liat

Tanah liat merupakan bahan dasar yang dipakai dalam pembuatan keramik, dimana kegunaannya sangat menguntungkan bagi manusia karena bahannya yang mudah didapat dan pemakaiannya yang sangat luas. Kira-kira 70% atau 80% dari kulit bumi terdiri dari batuan yang merupakan sumber tanah liat. Tanah liat banyak ditemukan di areal pertanian terutama persawahan (Budiyanto *et. al*, 2008).

Di Indonesia, tanah liat terdapat sangat melimpah. Tanah liat berasal dari pelapukan batuan sedimen yang mengandung endapan vulkanik, berwarna coklat kemerahan dan abu-abu kecoklatan, bersifat lunak agak padat, plastis sebaliknya bila kering keras dan rapuh. Lempung tersebut cukup baik untuk bahan pembuatan batubata dan genteng dan juga cukup baik untuk bahan urugan. Lempung ini merupakan pelapukan dari aluvium, batupasir tufaan, tebal <2 meter, warna merah kekuningan-kuning kecoklatan. Kualitas lempung yang baik terdapat di sekitar Kroya–Kedokan Gabus merupakan pelapukan dari batupasir tufaan, lempungnya liat, lengket, mengandung pasir sedikit. Cadangan diperkirakan mencapai 200.000 m³. Di Kabupaten Sumbawa terdapat cadangan 5,9 juta m³ (Budiyanto *et. al*, 2008).

Hampir semua tanah liat yang ada di Indonesia disebut “lempung”. Lempung merupakan produk alam, yaitu hasil pelapukan kulit bumi yang sebagian besar terdiri dari batuan *feldspatik*, berupa batuan granit dan batuan beku. Alam memproduksi tanah liat secara terus menerus, sehingga tidak mengherankan jika tanah liat terdapat dimana-mana dan jumlahnya sangat besar. Karena jumlahnya sangat besar, dapat dipastikan manusia tidak akan mampu menghabiskannya (Budiyanto *et. al*, 2008).

2.1.1. Tanah Liat Sebagai Makanan

Pica, digambarkan sebagai tindakan atau keinginan untuk mengonsumsi bahan non makanan. Jenis paling umum dari pica adalah geofagi (mengonsumsi tanah), amilofagi (mengonsumsi pati mentah), dan pagofagi (mengonsumsi es balok) (Young *et. al*, 2010). Pica digambarkan sebagai gangguan makan, perilaku obsesif-kompulsif atau sebagai respon normal terhadap berbagai kondisi fisiologis lingkungan (Crawford *et. al*, 2011).

Geofagi adalah perilaku mengonsumsi tanah, tanah liat, lumpur, abu atau batu. Manusia dan hewan di hampir semua benua terdapat praktek geofagi dalam berbagai bentuk. Geofagi pada manusia tidak mampu dipahami dengan baik, hal ini terkait populasi yang paling mungkin untuk terlibat adalah masyarakat yang tinggal di pedesaan, praktek budaya tradisional atau tanpa akses ke fasilitas kesehatan modern. Wanita hamil dan anak-anak merupakan kelompok yang paling beresiko tinggi dalam praktek geofagi (Crawford *et. al*, 2011).

Mengonsumsi tanah liat diyakini memiliki banyak manfaat, mengurangi mual dan muntah pada awal kehamilan, merupakan bukti bahwa perilaku tersebut dapat meredakan gangguan pencernaan. Hal ini menguatkan bahwa tanah liat atau tanah juga dapat menyerap patogen dan racun, mencegah agar tidak masuk ke dalam aliran darah atau endotelium usus. Bahkan tanah kaolin adalah bahan aktif untuk obat mual, muntah, dan diare. Teori lain menyebutkan, mengonsumsi tanah dapat meningkatkan fungsi sistem kekebalan imun dan mencegah asma (Crawford *et. al*, 2011).

Penggunaan tanah liat dalam persiapan makanan menjadi sarana penetral racun pada beberapa bangsa. Tanah liat digunakan dalam penyusunan atau dimakan bersama makanan mengandung racun, seperti kentang Andean yang mengandung glycoalkaloids (John, 1996) dan jagung sardinia yang tinggi tannin (Usai *et. al*, 1969). Di barat Australia, suku Aborigin menggunakan tanah liat dalam persiapan *mene*, sejenis umbi yang menyebabkan diare jika tertelan mentah. Penduduk Northern Territory Australia mengonsumsi tanah liat untuk mencegah keracunan sebelum mengonsumsi ikan yang diketahui beracun (Grey, 1841).

Beberapa hipotesis menyebutkan bahwa mengonsumsi tanah terkait dengan defisiensi zat gizi, perlindungan diri, dan keinginan untuk mengonsumsi tanpa adanya tujuan (*craving*) (Young *et. al*, 2011). Perilaku geofagi di Panama memiliki manfaat gizi, namun tanpa adanya pemahaman yang lebih jelas tentang efek khusus tanah liat di dalam sistem pencernaan, sulit untuk langsung menentukan dampak biofisik dari geofagi (Crowford *et. al*, 2011).

2.2. Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii*

Kappaphycus alvarezii adalah salah satu jenis rumput laut dari kelas *Rhodophyceae* (ganggang merah) dan merupakan salah satu *carragenophytes*, yaitu rumput laut penghasil karagenan. Karagenan merupakan senyawa polisakarida yang dapat terekstraksi dengan air panas untuk membentuk gel. Sifat pembentukan gel pada rumput laut ini dibutuhkan untuk menghasilkan pasta yang baik (Winarno, 1990).

Klasifikasi rumput laut jenis *Kappaphycus alvarezii* menurut Doty (1986) dalam Atmadja *et al.* (1996) adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Rhodophyta
Kelas	: Rhodophyceae
Ordo	: Gigartinales
Famili	: Solieriaceae
Genus	: <i>Kappaphycus</i>
Species	: <i>Kappaphycus alvarezii</i>



Gambar 2.1. Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii*
(Dokumen Pribadi)

Dalam dunia perdagangan internasional dan nasional, umumnya *Kappaphycus alvarezii* lebih dikenal dengan nama *Cottonii*. Spesies ini menghasilkan karagenan tipe kappa, oleh karena itu secara taksonomi

namanya diubah dari *Eucheuma alvarezii* menjadi *Kappaphycus alvarezii* (Doty 1986 dalam Zuccarello *et al.* 2006).

Ciri fisik yang dimiliki spesies ini antara lain *thallus* yang kasar, agak pipih dan bercabang teratur, yaitu bercabang dua atau tiga, ujung-ujung percabangan ada yang runcing dan tumpul dengan permukaan bergerigi, agak kasar dan berbintil-bintil (Aslan, 1998). *Kappaphycus alvarezii* tumbuh melekat ke substrat dengan alat perekat berupa cakram. Cabang-cabang pertama dan kedua tumbuh membentuk rumpun yang rimbun dengan ciri khusus mengarah ke arah datangnya sinar matahari. Cabang-cabang tersebut ada yang memanjang atau melengkung seperti tanduk (Atmadja *et al.* 1996)

2.2.1. Komposisi Kimia *Kappaphycus alvarezii*

Rumput laut bukanlah merupakan sumber energi utama meskipun dilaporkan memiliki nilai nutrisi yang meliputi vitamin, protein dan mineral. Dalam 100 g rumput laut terkandung lebih dari cukup kebutuhan tubuh terhadap vitamin A, B2, B12 dan dua pertiga dari kecukupan vitamin C. Selain itu rumput laut juga merupakan sumber serat pangan yang penting, terutama serat larut (*soluble fiber*) yang berperan mencegah konstipasi, kanker kolon, penyakit kardiovaskular dan obesitas (Ortiz *et al.* 2004).

Rumput laut umumnya mengandung kandungan nutrisi yang amat baik bagi kesehatan. Selain karbohidrat, protein, lemak dan serat, rumput laut juga mengandung enzim, asam nukleat, asam amino, vitamin (A, B, C, D, E dan K) dan makro mineral seperti kalsium, magnesium, natrium dan kalium serta mikro mineral seperti besi, seng, tembaga dan selenium

(Matanjun *et al.* 2008). Ortiz *et al.* (2004) menyatakan bahwa kandungan mineral rumput laut lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanaman darat.

Penelitian yang dilakukan Santoso *et al.* (2004) pada sembilan jenis rumput laut Indonesia menyatakan bahwa *Kappaphycus alvarezii* mengandung total serat pangan (*total dietary fiber*) sebesar 69,3 g/100 g berat kering, lebih besar dari rumput laut coklat *Sargassum polycystum* (65,7 g/100 g berat kering) dan rumput laut hijau *Caulerpa sertularoides* (61,8 g/100 g berat kering). Komposisi kimia rumput laut *Kappaphycus alvarezii* secara lebih lengkap disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Rumput Laut *Kappaphycus Alvarezii*

Komposisi	Jumlah
Air (%)	83,3
Protein (%)	0,7
Lemak (%)	0,2
Abu (%)	3,4
Serat makanan tidak larut (%)	58,6
Serat makanan larut (%)	10,7
Total serat makanan (%)	69,3
Mineral Zn (mg/g)	0,01
Mineral Mg (mg/g)	2,88
Mineral Ca (mg/g)	2,80
Mineral K (mg/g)	87,10
Mineral Na (mg/g)	11,93

(Santoso *et al.*, 2004)

Beberapa jenis *Euचेuma* mempunyai peranan penting dalam dunia perdagangan internasional sebagai penghasil ekstrak karagenan. Kadar karagenan dalam setiap spesies *Euचेuma* berkisar antara 54-73% tergantung pada jenis dan lokasinya (di Indonesia berkisar antara 61,5-67,5%). Selain karagenan dalam *Euचेuma* masih terdapat lagi

beberapa zat organik lain seperti protein, lemak, serat kasar, abu dan air (Asra, 2006).

Komposisi kimia rumput laut bervariasi antar individu, spesies, habitat, kematangan dan kondisi lingkungannya. Kandungan rumput laut segar adalah air yang mencapai 80-90%, sedangkan kadar protein dan lemaknya sangat kecil. Walaupun kadar lemak rumput laut sangat rendah, tetapi susunan asam lemaknya sangat penting bagi kesehatan. Lemak rumput laut mengandung asam lemak omega-3 dan omega-6 dalam jumlah yang cukup tinggi. Kedua asam lemak ini merupakan asam lemak yang penting bagi tubuh, terutama sebagai pembentuk membran jaringan otak, syaraf, retina mata, plasma darah, dan organ reproduksi. Dalam 100 gram rumput laut kering mengandung asam lemak omega-3 berkisar 128-1.629 mg dan asam lemak omega-6 berkisar 188-1.704 mg (Winarno, 1990).

2.2.2. Manfaat Rumput Laut

Rumput laut hingga kini masih menjadi salah satu komoditas unggulan perairan Indonesia. Permintaan yang tinggi akan rumput laut membuat total volume produksi budidaya terus meningkat. Departemen Kelautan dan Perikanan (DKP) tahun 2008 mencatat bahwa pada tahun 2005 volume produksi budidaya rumput laut mencapai 866.383 ton, dan terus mengalami peningkatan menjadi 1.374.463 ton dan 1.728.475 ton pada tahun 2006 dan 2007. Persentase kenaikan volume rata-rata rumput laut juga merupakan yang tertinggi yaitu sebesar 55,46%, bila dibandingkan dengan komoditas utama lainnya, seperti udang (17,71%)

dan kerapu (11,82%). Terdapat sekitar 555 jenis rumput laut di Indonesia dan lebih dari 21 jenis diantaranya berguna dan dimanfaatkan sebagai makanan serta memiliki nilai ekonomis tinggi dalam perdagangan. Salah satu jenis rumput laut yang banyak dibudidayakan di tanah air ialah *Kappaphycus alvarezii* (Aslan, 1998).

Menurut Angka dan Suhartono (2000), jenis rumput laut merah ternyata lebih banyak dimanfaatkan ada sekitar 230 jenis, sebagian besar digunakan di bidang industri tetapi masih sedikit yang dimanfaatkan untuk obat. *Kappaphycus alvarezii* termasuk dalam rumput laut yang mempunyai nilai komersial dan komoditas ekspor. Rumput laut jenis ini merupakan salah satu *carragenophytes* yaitu rumput laut penghasil karaginan. Hasil olahan dari *Kappaphycus alvarezii* banyak digunakan sebagai pengemulsi, pembentuk gel, penstabil, dan pengental (Doty, 1985).

Karaginan sangat penting peranannya sebagai *stabilizer* (penstabil), *thickener* (bahan pengental), pembentuk gel, pengemulsi, dan lain-lain. Sifat ini banyak dimanfaatkan dalam industri makanan, obat-obatan, kosmetik, tekstil, cat, pasta gigi, dan industri lainnya. Penggunaan karaginan dalam pengolahan pangan dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu untuk produk-produk berbahan dasar air dan produk-produk berbahan dasar susu (Winarno, 1990).

Rumput laut merupakan salah satu bahan pangan yang mengandung iodium dan serat pangan. Menurut Winarno (1990) rumput laut merah (*Rhodophyceae*) mempunyai kandungan iodium sebesar 0,1-0,15%. Rumput laut juga kaya akan serat karena pada rumput laut

mengandung karbohidrat berupa manosa, galaktosa, agarosa, dan sebagainya yang tidak mudah dicerna oleh pencernaan manusia.

Serat pangan berfungsi sebagai pelindung kolon dari gangguan konstipasi, diare, divertikulosis, wasir, kanker kolon, dan juga mencegah terjadinya gangguan metabolisme sehingga tubuh terhindar dari kegemukan dan kemungkinan serangan penyakit diabetes mellitus, jantung koroner, dan batu empedu (Sulistijani, 2005). Manfaat serat pangan berbeda-beda sesuai dengan jenisnya. Secara fisiologis, serat pangan larut air (SDF) lebih efektif dalam menurunkan penyakit hiperglikemia diantaranya menurunkan kolesterol, mencegah penyakit jantung serta tekanan darah tinggi. Serat yang tidak larut air (IDF) lebih efektif dalam mencegah gangguan sistem pencernaan, yaitu bermanfaat untuk mempercepat transit bahan makanan di usus dan meningkatkan volume feses, menghambat hidrolisis pati serta menunda penyerapan glukosa (Ramulu *et al*, 2003).

Serat merupakan zat nongizi dan saat ini konsumsinya makin dianjurkan agar bisa dilakukan secara teratur dan seimbang setiap hari. Serat pangan tidak dapat diserap oleh dinding usus halus dan tidak dapat masuk ke dalam sirkulasi darah. Namun akan dilewatkan menuju ke usus besar (kolon) dengan gerakan peristaltik usus. Serat pangan yang tersisa di dalam kolon tidak membahayakan organ usus, justru kehadirannya berpengaruh positif terhadap proses-proses di dalam saluran pencernaan dan metabolisme zat-zat gizi, asalkan jumlahnya tidak berlebihan (Sulistijani, 2005).

Konsumsi serat pangan yang dianjurkan bagi orang dewasa sehat yaitu paling sedikit 10-13 g/1000 Kal, pria dewasa sebanyak 21-27 g/hari (dengan rata-rata konsumsi energi 2100 Kal/hari) (Mayer dan Goldberg 1990 dalam Sulistijani, 2005). Data lain juga diberikan oleh *National Cancer Institute*, Amerika Serikat menganjurkan konsumsi serat pangan untuk orang dewasa adalah sebanyak 20-30 g/hari, sedangkan *America Diet Association* merekomendasikan konsumsi serat pangan untuk orang dewasa sebanyak 25-35 g/hari (Sulistijani, 2005).

Lahaye (1991) dalam Ortiz *et al.* (2004) menyatakan bahwa rumput laut merupakan sumberdaya perairan yang memiliki kandungan serat pangan tinggi, terutama serat larut air (*soluble dietary fiber*) yang berperan penting dalam menurunkan berbagai resiko penyakit, seperti sembelit, jantung, divertikulosis, dan kegemukan. Dawczynski *et al.* (2007) dalam Ekantari (2009) mengungkapkan bahwa serat pangan dari rumput laut merah dan coklat bervariasi mulai dari 29,1-62,8 g/100 g. Meskipun tidak mempunyai nilai gizi, serat pangan diakui memberikan pengaruh positif bagi metabolisme zat gizi dan kesehatan tubuh, antara lain bermanfaat untuk melancarkan saluran pencernaan, mengurangi kolesterol darah dan glukosa darah (Muchtadi, 2000).

Bila seseorang mengonsumsi makanan yang banyak mengandung serat pangan, maka orang tersebut akan lebih cepat merasa kenyang. Dengan adanya serat pangan maka orang tersebut akan mengunyah lebih lama, dan hal ini akan menstimulir ekskresi saliva (air liur) dan cairan lambung lebih banyak. Sekresi yang berlebihan ini akan menyebabkan perut merasa kenyang. Selain itu, dengan adanya

serat pangan, maka penyerapan zat-zat gizi (pati, gula, protein, lemak) akan dihalangi, sehingga jumlah yang akan di oksidasi menjadi energi berkurang (Muchtadi, 2000).

2.3. Cookies

Biskuit adalah produk yang diperoleh dengan memanggang adonan dari tepung terigu dengan penambahan makanan lain dan dengan atau tanpa penambahan bahan tambahan pangan yang diijinkan. Menurut SNI 01-2973-1992, biskuit diklasifikasikan dalam empat jenis: biskuit keras, *crackers*, *cookies* dan *wafer*.

Menurut Departemen Perindustrian (1990), biskuit diklasifikasikan menjadi 4 jenis, yaitu:

- a) Biskuit keras adalah jenis biskuit manis yang terbuat dari adonan keras, berbentuk pipih dan bila dipatahkan penampang potongannya bertekstur padat, dapat berkadar lemak tinggi atau rendah.
- b) Crackers adalah jenis biskuit yang dibuat dari adonan keras melalui fermentasi, berbentuk pipih yang rasanya lebih mengarah ke asin, relatif renyah, serta bila dipatahkan penampang potongannya berlapis-lapis.
- c) *Cookies* adalah jenis biskuit yang dibuat dari adonan lunak, berkadar lemak tinggi, relatif renyah dan bila dipatahkan penampang potongannya berongga-rongga (kurang padat).

- d) Wafer adalah jenis biskuit yang dibuat dari adonan cair, berpori-pori kasar, relatif renyah dan bila dipatahkan penampang potongannya berongga-rongga.

Menurut Matz (1962), cookies termasuk *friable food*. Sifat tekstur *friable food* yang penting adalah sedikit elastis, *porous*, diskontinyu, dan mudah pecah menjadi partikel-partikel yang tidak teratur selama pengunyahan.

Berdasarkan jenis adonan, *cookies* dibedakan menjadi dua yaitu adonan lunak (*soft dough*) dan adonan keras (*hard dough*). Adonan lunak meliputi semua jenis kue yang rasanya manis, sedangkan adonan keras meliputi kue yang agak manis dan tidak manis (Whiteley, 1971). Berdasarkan banyaknya gula dan *shortening* yang digunakan *cookies* dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu jenis adonan lunak dan adonan keras. Jenis adonan keras biasanya menggunakan gula sedikit atau tidak sama sekali, dan menggunakan *shortening* kurang dari 22% dari jumlah tepung, sedangkan adonan lunak menggunakan gula dan *shortening* lebih banyak dibanding jenis adonan keras.

Cookies merupakan produk *bakery* yang memiliki kadar air rendah jika dipatahkan penampang potongannya bertekstur berongga. *Cookies* adalah kue kering manis kecil-kecil. Dalam pembuatan *cookies* diperlukan bahan-bahan yang dibagi dalam dua kelompok, yaitu bahan pengikat seperti tepung, air, padatan susu, telur, dan putih telur, serta bahan pelembut seperti gula, *shortening* (lemak), *baking powder*, dan kuning telur. Menurut Faridi (1994), komponen mayor yang mempengaruhi

karakteristik tekstur dan kelembutan *cookies* adalah tepung terigu, gula, dan lemak.

Tepung, telur, dan pengembang dalam pembuatan kue kering adalah komponen yang memegang peranan penting dan berpengaruh terhadap sifat-sifat *cookies*, khususnya sifat-sifat fisik dan cita rasa, sedangkan air, pH, dan pengaturan temperatur pengaruhnya kecil (Matz, 1978)

Tepung lunak (*soft wheat flour*) adalah tepung terigu yang kandungan proteinnya sebesar 8-10% digunakan dalam produk biskuit, *crackers*, *cookies*, dan sebagainya. Tepung terigu yang umum digunakan dalam pembuatan *cookies* adalah tepung lunak yang memiliki kandungan protein rendah (8-10%) karena kadar proteinnya lebih rendah dari jenis lain dan memberikan adonan gluten yang kurang resisten (Manley, 1991). Pada tepung lunak dibutuhkan lebih banyak lemak dan gula untuk memperoleh tekstur yang diinginkan yaitu tidak keras dan kasar seperti yang terjadi pada penggunaan tepung keras (Matz, 1978). Tepung terigu merupakan bahan utama pada pembuatan produk *bakery*.

Gula adalah komponen mayor yang digunakan dalam formula *cookies*. Jumlah dan kuantitas gula berpengaruh besar terhadap adonan *cookies*, yaitu berkaitan dengan tekstur, penampakan, dan *flavour* atau aroma dalam produk akhir (Faridi, 1994). Gula terdiri atas gula pasir dan gula halus.

Menurut Kaplan (1977), gula halus paling baik digunakan untuk membuat *cookies*. Gula halus dalam produk *cookies* berfungsi sebagai pemanis dan berperan dalam pembentukan tekstur akhir *cookies*. Gula

halus tidak akan menyebabkan penyebaran kue yang terlalu besar, sedangkan gula pasir akan menyebabkan kue kering menyebar secara maksimum selama pemanggangan berlangsung. Kue kering dengan persentase gula yang tinggi akan lebih menyebar daripada persentase gula yang rendah. Bila jumlah gula terlalu banyak akan menghasilkan *cookies* yang kurang lembut dan kurang lezat akibat reaksi menyebarnya gluten-gluten tepung.

Lemak (*shortening*) merupakan komponen penting dalam pembuatan *cookies*, karena berfungsi sebagai bahan pengemulsi sehingga menghasilkan tekstur produk yang renyah (Matz, 1978). Lemak mencegah campuran adonan mengental pada waktu pembentukan *cream*. Lemak dapat membuat renyah *cookies* karena lemak melapisi molekul pati dan gluten dalam tepung dan memutuskan ikatannya (Kaplan, 1977). *Shortening* berfungsi memberikan rasa lezat (palabilitas), nilai gizi tinggi, tekstur tidak keras, dan membantu pengembangan susunan *cookies* ketika dipanggang.

Penggunaan telur dalam pembuatan biskuit karena telur memiliki daya emulsi sehingga dapat mempertahankan kestabilan adonan (Winarno, 1997). Telur dapat berfungsi sebagai aerasi yaitu kemampuan menangkap udara saat adonan dikocok sehingga udara menyebar rata pada adonan sebagai pelembut dan pengikat. Penggunaan kuning telur tanpa putih telur dalam pembuatan biskuit akan menghasilkan biskuit yang lembut dan kualitas cita rasa yang sempurna (Matz, 1978). Telur berperan dalam pemberian bentuk, tekstur, dan flavor biskuit yang baik (Sultan, 1983).

Emulsifier berfungsi untuk menjaga ukuran kristal lemak dalam adonan, menjaga kestabilan emulsi antara lemak dan air, meningkatkan konsistensi dari adonan, dan melumasi adonan rendah lemak (Manley, 1991). Emulsi merupakan suspensi cairan lain dimana molekul-molekul kedua cairan tersebut tidak saling berbaur tetapi saling antagonistik (Winarno, 1997). *Emulsifier* yang sering digunakan dalam aplikasi produk *baking* adalah lecitin.

Penggunaan susu untuk pembuatan biskuit karena susu mengandung laktosa yang dapat membantu pembentukan aroma dan menahan penyerapan air, juga berperan sebagai bahan pengisi untuk mengikat kandungan gizi biskuit yang dihasilkan (Buckle *et al.*, 1985). Susu dapat meningkatkan kandungan energi biskuit karena adanya lemak dan gula alami (laktosa) sehingga penggunaan susu bubuk lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan susu cair (Anonim, 1981). Susu skim adalah bagian susu yang tertinggal sesudah krim diambil sebagian atau seluruhnya. Susu skim mengandung semua zat makanan dari susu, kecuali lemak dan vitamin yang larut dalam lemak (Buckle *et al.*, 1985). Penggunaan susu skim dimaksudkan guna memperbaiki penerimaan (warna, rasa, dan aroma), sebagai bahan pengisi serta untuk meningkatkan nilai gizi *cookies*.

Air berfungsi dalam pembentukan gluten, mengontrol kepadatan adonan, pengaturan suhu adonan, melarutkan garam, menahan dan menyebarkan bahan-bahan dalam mixing secara merata, membantu daya kerja *emulsifier (oil in water)*, dan mempertahankan rasa lezat biscuit (Subarna, 1992).

Garam berfungsi sebagai penguat rasa, memperkuat struktur *cookies*, secara tidak langsung membantu pembentukan warna, dan mencegah pertumbuhan bakteri yang tidak diinginkan dalam adonan. Sebagian besar formula *cookies* menggunakan garam satu persen atau kurang (Matz, 1978).

Leaving agent (bahan pengembang) merupakan senyawa kimia yang bila terurai akan menghasilkan gas dalam adonan sehingga dapat membentuk volume dan produk yang dihasilkan menjadi lebih ringan (Matz, 1987)..

Sodium bicarbonate (NaHCO_3) dan *ammonium bicarbonate* (NH_4HCO_3) bertujuan untuk mengembangkan produk yaitu menghasilkan CO_2 . Penggunaan sodium bicarbonate lebih populer disebabkan oleh harga dan memiliki toksinitas yang rendah. Bahan-bahan minor memiliki pengaruh pada adonan, tekstur, dan rasa dari *cookies*. Selain itu, berpengaruh terhadap tekstur dan volume *cookies* (Matz, 1978).

2.3.1. Tahapan Pembuatan *Cookies*

Tahapan proses pembuatan *cookies* meliputi : pembuatan dan pencampuran adonan, pencetakan adonan, dan pemanggangan. Mencampur adonan kue kering diawali dengan pembuatan *cream* yaitu gula, lemak, telur, susu skim, dan garam. Dilanjutkan dengan pencampuran tepung dan pengembang. Adonan harus tercampur merata agar bahan-bahan menjadi satu adonan yang homogen (Kamel, 1994).

Setelah adonan yang homogen terbentuk, maka dapat dilakukan pencetakan. Pencetakan *cookies* dapat bervariasi tergantung selera.

Tahap akhir adalah pemanggangan. Suhu pemanggangan tergantung pada jenis *cookies* yang dibuat (Kamel, 1994).

Pada dasarnya proses pembuatan *cookies* dibagi menjadi 3 tahap yaitu pembuatan adonan, pencetakan, dan pemanggangan. Pembentukan kerangka *cookies* diawali sejak pembuatan adonan. Selama pencampuran terjadi penyerapan air oleh protein sehingga terbentuk gluten yang akan membentuk struktur *cookies* dan mengalami pemantapan selama pemanggangan. Adanya proses pengadukan menyebabkan *shortening* menjadi lunak karena adanya panas selama proses pengadukan. Selain itu, pengadukan juga menyebabkan udara yang terperangkap dalam jaringan tersebut terdesak oleh air yang menguap dan menyebabkan pengembangan. *Shortening* dan kuning telur dalam adonan juga dapat menurunkan terbentuknya gluten karena lemak menyelubungi tepung sehingga menghambat kontak antara protein terigu dengan air. Adanya gula juga dapat mengurangi terbentuknya gluten dengan adanya persaingan dengan protein dalam memperoleh air (Indriyani, 2007).

Pada tahap awal pemanggangan terjadi kenaikan suhu yang menyebabkan melelehnya lemak sehingga konsistensi adonan menurun dan adonan *cookies* mengalami penyebaran ditandai dengan perubahan diameter dan ketebalan *cookies*. Ketika suhu mendekati titik didih air, protein dalam susu dan putih telur terkoagulasi dan diikuti gelatinisasi pati sebagian karena kandungan airnya yang rendah. Pada suhu didih air tercapai pembentukan uap air meningkat diikuti kenaikan volume *cookies*.

Pemantapan struktur *cookies* diakhiri dengan gelatinisasi pati, koagulasi protein, dan penurunan kadar air (Indiyah, 1992).

2.3.2. Syarat Mutu *Cookies*

Agar biskuit dapat diterima oleh masyarakat, bukan hanya rasa yang diandalkan, tetapi mutu biskuit harus diperhatikan. Untuk itu pemerintah mengeluarkan standar mutu yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional untuk melindungi konsumen. Persyaratan mutu biskuit dalam SNI 2973:2011 dapat dilihat dalam Tabel 2.2 .

Tabel 2.2. Persyaratan Mutu Biskuit

Kriteria uji	Persyaratan
Air (%b/b)	Maks 5%
Protein (%b/b)	Min 9%
Abu (%b/b)	Maks 1,5%
Lemak (%b/b)	Min 9,5%
Karbohidrat (%b/b)	Min 70%
Logam berbahaya	Negatif
Serat kasar (%b/b)	Maks 0,5%
Energi (kal/100g)	Min 400
Jenis tepung	Terigu
Bau dan rasa	Normal dan tidak tengik
Warna	Normal

(SNI 2973:2011)

Sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pangan dan gizi, beberapa logam yang sebelumnya dianggap sebagai cemaran tetapi sekarang dianggap sebagai unsur esensial yang dibutuhkan oleh tubuh sehingga sengaja ditambahkan ke dalam suatu produk (difortifikasi) (Wijaya *et al*, 2010).

Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia No. HK.00.06.1.52.4011 Tahun 2009 tentang Penetapan Batas Maksimum Cemaran Mikroba dan Kimia dalam Makanan dan SNI 7387:2009, batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan untuk produk bakeri maka cemaran logam adalah cemaran arsen, kadmium, merkuri, timah, dan timbal dengan persyaratan masing-masing adalah maksimal 0,1 mg/kg, maksimal 0,2 mg/kg, maksimal 0,05 mg/kg, maksimal 40 mg/kg, dan 0,5 mg/kg. Tembaga dan seng tidak disyaratkan di dalam peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan dan SNI (Wijaya *et al*, 2010).

2.4. Pengertian Logam Berat

Sedikitnya terdapat 80 jenis dari 109 unsur kimia di muka bumi ini yang telah teridentifikasi sebagai jenis logam berat. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah seng, tembaga, besi, kobalt, mangan, dan lain sebagainya. Sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti merkuri, kadmium, timbal, kromium, dan lain-lain (Nopriani, 2011)

Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 g/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 (Miettinen, 1977).

Sebagian logam berat seperti timbal, kadmium, dan merkuri merupakan zat pencemar yang berbahaya. Afinitas yang tinggi terhadap unsur S menyebabkan logam ini menyerang ikatan belerang dalam enzim, sehingga enzim bersangkutan menjadi tak aktif. Gugus karboksilat (-COOH) dan amina (-NH₂) juga bereaksi dengan logam berat. Kadmium, timbal, dan tembaga terikat pada sel-sel membran yang menghambat proses transformasi melalui dinding sel. Logam berat juga mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalis penguraiannya (Manahan, 1977).

Berbeda dengan logam biasa, logam berat adalah istilah yang digunakan secara umum untuk kelompok logam berat dan metaloid yang densitasnya lebih besar dari 5 g/cm³ (Hutagalung et al., 1997). Dalam perairan, logam berat dapat ditemukan dalam bentuk terlarut dan tidak terlarut. Logam berat terlarut adalah logam yang membentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik, sedangkan logam berat yang tidak terlarut merupakan partikel-partikel yang berbentuk koloid dan senyawa kelompok metal yang teradsorpsi pada partikel partikel yang tersuspensi (Razak, 1980).

Menurut Darmono (1995) sifat logam berat sangat unik, tidak dapat dihancurkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses biomagnifikasi. Pencemaran logam berat ini menimbulkan berbagai permasalahan diantaranya:

- a) berhubungan dengan estetika (perubahan bau, warna, dan rasa air),
- b) berbahaya bagi kehidupan tanaman dan binatang,
- c) berbahaya bagi kesehatan manusia,
- d) menyebabkan kerusakan pada ekosistem.

Sebagian dari logam berat bersifat esensial bagi organisme air untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya, antara lain dalam pembentukan haemosianin dalam sistem darah dan enzimatik pada biota (Darmono, 1995). Akan tetapi bila jumlah dari logam berat masuk ke dalam tubuh dengan jumlah berlebih, maka akan berubah fungsi menjadi racun bagi tubuh (Palar, 2004).

2.4.1. Karakteristik Logam Berat Berbahaya

Menurut Suhendrayatna dalam Charlena (2004), ada beberapa logam berat yang berbahaya bila kadarnya dalam tubuh melebihi ambang batas yang diperbolehkan. Logam berat tersebut yaitu:

a. Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) adalah logam kebiruan yang lunak, dan merupakan racun bagi tubuh manusia. Waktu paruhnya 30 tahun dan dapat terakumulasi pada ginjal, sehingga ginjal mengalami disfungsi. Jumlah normal kadmium di tanah berada di bawah 1 ppm, tetapi angka tertinggi (1700 ppm) dijumpai pada permukaan sampel tanah yang diambil di dekat pertambangan biji seng (Nopriani, 2011).

Kadmium lebih mudah diakumulasi oleh tanaman dibandingkan dengan ion logam berat lainnya seperti timbal. Logam berat ini bergabung bersama timbal dan merkuri sebagai *the big three heavy metal* yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia. Menurut badan dunia FAO/WHO, konsumsi per minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 g per orang atau 7 mg per kg berat badan (Nopriani, 2011).

Kadmium yang terdapat dalam tubuh manusia sebagian besar diperoleh melalui makanan dan tembakau, hanya sejumlah kecil berasal dari air minum dan polusi udara. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Laegreid (1999) dalam Charlene (2004), pemasukan Cd melalui makanan adalah 10-40 mg/hari, sedikitnya 50% diserap oleh tubuh.

b. Merkuri (Hg)

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 (Nopriani, 2011).

Selain untuk kegiatan penambangan emas, logam Hg juga digunakan dalam produksi gas klor dan soda kaustik, termometer, bahan tambal gigi, dan baterai. Keracunan merkuri

pertama sekali dilaporkan terjadi di Minamata, Jepang pada tahun 1953 (Nopriani, 2011).

Kontaminasi serius juga pernah diukur di sungai Surabaya, Indonesia tahun 1996. Akibat kuatnya interaksi antara merkuri dan komponen tanah lainnya, penggantian bentuk merkuri dari satu bentuk ke bentuk lainnya selain gas biasanya sangat lambat (Nopriani, 2011).

Proses metilisasi merkuri biasanya terjadi di alam pada kondisi terbatas, membentuk satu dari sekian banyak elemen berbahaya, karena dalam bentuk ini merkuri sangat mudah terakumulasi pada rantai makanan. Karena berbahaya, penggunaan fungisida alkilmerkuri dalam pembenihan tidak diijinkan di banyak negara (Nopriani, 2011).

Kasus yang kedua yang terjadi di negara kita sendiri yaitu tercemarnya perairan di Teluk Buyat, Manado sebagai akibat pembuangan limbah arsen dan merkuri yang dilakukan oleh PT. Newmont selama bertahun-tahun sehingga mengakibatkan tercemarnya ikan-ikan yang ada di perairan tersebut. Ikan-ikan tersebut dimakan oleh penduduk yang ada di sekitar daerah itu dan menyebabkan wabah neurologis yang tidak menular, yang sangat merugikan kesehatan serta menyengsarakan kesehatan masyarakat. Dalam kasus Buyat ini, logam berat merkuri kemungkinan dapat berasal dari limbah proses pemisahan biji emas atau dari tanah bahan tambangnya sendiri yang sudah mengandung merkuri (Nopriani, 2011).

Padahal banyak alternatif yang dapat digunakan untuk mengolah limbah yang mengandung logam berat, khususnya merkuri, diantaranya ialah dengan teknologi *low temperature thermal desorption* (LTTD) atau dengan teknologi *phytoremediation* (Anonim, 2004).

2.4.2. Logam Berat di Alam

Logam adalah unsur alam yang dapat diperoleh dari laut, erosi batuan tambang, vulkanisme dan sebagainya (Clark, 1986). Umumnya logam-logam di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan dengan unsur lain, sangat jarang yang ditemukan dalam elemen tunggal. Unsur ini dalam kondisi suhu kamar tidak selalu berbentuk padat melainkan ada yang berbentuk cair, misalnya merkuri (Hg). Dalam badan perairan, logam pada umumnya berada dalam bentuk ion-ion, baik sebagai pasangan ion ataupun dalam bentuk ion-ion tunggal. Sedangkan pada lapisan atmosfer, logam ditemukan dalam bentuk partikulat, dimana unsur-unsur logam tersebut ikut berterbangan dengan debu-debu yang ada di atmosfer (Palar, 2004).

Tanah secara alami telah mengandung logam berat meskipun hanya sedikit. Berdasarkan analisis Notohadiprawiro dkk (1991) jenis tanah *Vertisol* Sragen, *Ferrassol* Karanganyar (Solo), dan *Regosol* Kuningan Yogyakarta mengandung logam seng 20.9-49.8, tembaga 18.7-35.4, timbal 5.6-15.1, dan nikel 6.4-28.8 ppm. Kadarnya pun tergantung dari bahan induk pembentuk tanah itu sendiri. Tanah pun memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat yang berbeda untuk

tiap jenis tanah berdasarkan bahan induk penyusun tanah tersebut. Menurut standar umum kadar timbal dan kadmium yang boleh ada pada tanah adalah masing-masing 150 ppm dan 2 ppm namun untuk jenis tanah yang berasal dari batuan beku (Charlena, 2004).

Kandungan logam berat didalam tanah secara alamiah sangat rendah, kecuali tanah tersebut sudah tercemar. Kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman yang tumbuh diatasnya, kecuali terjadi interaksi diantara logam itu sehingga terjadi hambatan penyerapan logam tersebut oleh tanaman. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada kandungan logam dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah, dan spesies tanaman (Darmono, 1995). Kandungan logam berat dalam tanah secara alamiah dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kandungan Logam Berat Dalam Tanah Secara Alamiah

Logam	Kandungan (rata-rata)
Arsen	100
Kobal	8
Tembaga	20
Timah	10
Seng	50
Kadmium	0,06
Merkuri	0,03

Darmono (1995)

2.4.3. Tanah Sebagai Bagian Siklus Logam Berat

Tanah merupakan bagian dari siklus logam berat. Masukan logam berat ke dalam tanah apabila melebihi kemampuan tanah dalam

mencerna limbah akan mengakibatkan pencemaran tanah. Menurut Arnold (1990) & Subowo *et al* (1995) dalam Charlena (2004), logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 , antara lain kadmium, merkuri, timbal, seng, dan nikel. Logam berat kadmium, merkuri, dan timbal dinamakan sebagai logam non esensial dan pada tingkat tertentu menjadi logam beracun bagi makhluk hidup (Charlena, 2004).

Logam berat memasuki lingkungan tanah melalui penggunaan bahan kimia yang berlangsung mengenai tanah, penimbunan debu, hujan atau pengendapan, pengikisan tanah dan limbah buangan. Interaksi logam berat dan lingkungan tanah dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu :

- a. proses sorpsi atau desorpsi
- b. difusi pencucian, dan
- c. degradasi.

Pemasok logam berat dalam tanah pertanian antara lain bahan agrokimia (pupuk dan pestisida), asap kendaraan bermotor, bahan bakar minyak, pupuk organik, buangan limbah rumah tangga, industri, dan pertambangan. Selain itu sumber logam berat dalam tanah berasal dari bahan induk pembentuk tanah itu sendiri, seperti kadmium banyak terdapat pada batuan sedimen schales (0,22 ppm berat), kromium pada batuan beku ultrafanik (2,980 ppm berat), merkuri pada batuan sedimen pasir (0,29 ppm berat), timbal pada batuan granit (24 ppm berat) (Alloway, 1990). Pestisida juga memberikan masukan logam berat ke dalam tanah. Serapan pestisida oleh tanaman tergantung pada dosis pemberian

pestisida, jenis tanah, dan kemampuan tanaman menyerap pestisida (Alloway 1990 *dalam* Charlena 2004).

Besarnya penyerapan logam berat dalam tanah dipengaruhi oleh sifat bahan kimia, kepekatan bahan kimia dalam tanah, kandungan air tanah, dan sifat-sifat tanah misalnya bahan organik dan liat (Cliath & Miller, 1995 *dalam* Charlena, 2004).

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut yang ada di dalam larutan oleh permukaan benda atau zat penyerap. Adsorpsi adalah masuknya bahan yang menggumpal dalam suatu zat padat. Sebagian besar adsorben merupakan bahan yang sangat berpori dan adsorpsi terutama terjadi pada dinding berpori atau pada suatu tempat tertentu di dalam partikel. Proses pemisahan dapat terjadi karena adanya perbedaan berat molekul, bentuk atau kepolaran yang menyebabkan molekul-molekul tertentu melekat pada permukaan yang lebih kuat daripada molekul-molekul yang lain atau karena ukuran porinya terlalu kecil untuk dapat memuat molekul yang lebih besar. Adsorpsi dipengaruhi oleh permukaan suatu zat dan juga luas area. Adsorben memiliki luas permukaan yang besar untuk bereaksi, apabila suatu zat dalam cairan kecil, maka semakin besar potensi untuk dapat terikat atau menempel. Mekanisme sorpsi dapat berupa pertukaran ion (untuk yang terionisasi) dan ikatan hidrofobik (untuk zat organik yang tidak larut) (Nopriani, 2011).

2.4.4. Pencemaran Logam Berat pada Tanah

Logam berat termasuk zat pencemar karena sifatnya yang stabil dan sulit untuk diuraikan. Logam berat dalam tanah yang membahayakan pada kehidupan organisme dan lingkungan adalah dalam bentuk terlarut. Di dalam tanah logam tersebut mampu membentuk kompleks dengan bahan organik dalam tanah sehingga menjadi logam yang tidak larut. Logam yang diikat menjadi kompleks organik ini sukar untuk dicuci serta relatif tidak tersedia bagi tanaman. Dengan demikian senyawa organik tanah mampu mengurangi bahaya potensial yang disebabkan oleh logam berat beracun (Nopriani, 2011).

Unsur logam berat tanah terkandung dalam bebatuan beku, metamorfik, sedimen, dll. Kadar logam berat dalam tanah dipengaruhi oleh reaksi tanah dan fraksi-fraksi tanah yang bersifat dapat mengikat ion logam berat. Senyawa-senyawa tertentu seperti bahan ligand dapat mempengaruhi aktivitas ion logam berat, yaitu membentuk kompleks logam-ligand yang stabil, gugus-gugus karboksil dan fenoksil berperan mengikat semua unsur logam mikro (Napitupulu, 2008).

Kadar logam berat dalam tanah dipengaruhi oleh reaksi tanah dan fraksi-fraksi tanah yang bersifat dapat mengikat ion logam. Dengan peningkatan pH kadar logam berat dalam fase larutan menurun akibat meningkatnya reaksi hidrolisis, kerapatan kompleks adsorpsi dan muatan yang dimiliki koloid tanah. Disimpulkan bahwa pH bersama-sama dengan bahan mineral liat dan kandungan oksida-oksida hidrat dapat mengatur adsorpsi spesifik logam berat yang meningkat secara linear dengan pH sampai tingkat maksimum (Napitupulu, 2008).

2.4.5. Mekanisme pada Tubuh Manusia

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 sulfohidril, 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 (Charlena, 2004).

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 (Charlena, 2004).

Mengingat bahayanya akumulasi logam berat dalam lingkungan dan efek buruknya pada kesehatan, konsumen perlu pengetahuan tentang logam berat, sumber dan distribusi logam berat di lingkungan, mekanisme kontaminasi logam berat pada tubuh manusia, serta cara pencegahan akumulasinya (Dewi *et al*, 2000).

2.4.5.1. Mekanisme Merkuri pada Tubuh Manusia

Senyawa merkuri dalam bentuk Hg(II) dapat terikat pada residu sistein protein/enzim dalam tubuh manusia atau binatang sehingga protein/enzim kehilangan aktivitasnya. Selain Hg(II), senyawa merkuri paling berbahaya pada manusia adalah senyawa organomercuri, khususnya metilmerkuri dan fenilmerkuri. Senyawa ini bersifat sangat reaktif dan mempunyai mobilitas tinggi. Hal ini disebabkan *gastrointestine* manusia yang dapat menyerap sekitar 95% senyawa metilmerkuri sehingga menyebabkan gangguan syaraf binatang dan manusia melalui peredaran darah (Palar 1994; Rugh *et al.* 2000; Bizily *et al.* 2000).

Pencemaran logam merkuri pada tanah, air, dan udara sangat membahayakan lingkungan, binatang bahkan kesehatan manusia. Mekanisme keracunan merkuri di dalam tubuh belum diketahui dengan jelas. Namun, untuk daya racun merkuri dapat diinformasikan sebagai berikut: kerusakan tubuh yang disebabkan oleh merkuri pada umumnya bersifat permanen, masing-masing komponen merkuri mempunyai perbedaan karakteristik seperti daya racun, distribusi, akumulasi atau pengumpulan dan waktu retensinya (penyimpanan) di dalam tubuh. Apabila semua komponen merkuri berada dalam jumlah yang cukup, maka akan mengakibatkan racun dalam tubuh. Dampak Hg dalam tubuh dapat menyebabkan terhambatnya kerja enzim, sehingga mengakibatkan kerusakan sel. Kondisi akut keracunan merkuri dapat mengakibatkan kerusakan pada organ perut, usus,

gagal kardiovaskuler (jantung dan pembuluh), dan gagal ginjal akut bahkan mengakibatkan kematian (Widaningrum *et al.* 2007).

2.4.5.2. Mekanisme Kadmium pada Tubuh Manusia

Cemaran kadmium masuk kedalam tubuh manusia atau ternak melalui dua jalan yaitu saluran pernafasan (udara) dan saluran pencernaan (makanan). Beberapa hasil penelitian melaporkan bahwa absorpsi kadmium lewat saluran pencernaan sangat sedikit yaitu sekitar 3-8% dari total kadmium yang dimakan. Logam kadmium dalam usus akan menempel pada dinding usus sehingga diduga sel epitel usus mengatur absorpsi kadmium. Apabila sel epitel terkelupas maka kadmium ikut keluar dari dalam tubuh. Konsentrasi kadmium yang tinggi pada dinding usus dapat merusak usus dan mengganggu transportasi kadmium. Beberapa komponen tertentu seperti protein, kalsium, besi dan seng dapat mempengaruhi absorpsi kadmium dalam usus (Darmono, 1995).

Adsorpsi kadmium melalui paru-paru jauh lebih besar daripada absorpsi melalui saluran pencernaan yang hanya 25-50%. Setelah kadmium diabsorpsi dalam tubuh selanjutnya didistribusikan oleh darah ke berbagai jaringan, dan terakumulasi dalam hati dan ginjal. Kedua organ vital tersebut merupakan tempat deposit kadmium dalam tubuh yang jumlahnya mencapai 50% dari total kadmium. Sejumlah kadmium yang tertimbun dalam jaringan tubuh biasanya akan sangat lambat untuk dilepas kembali. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa *biological half life* (waktu paruh) kadmium dalam jaringan hati

sekitar 5-10 tahun sedangkan dalam ginjal lebih lama yaitu berkisar 16-33 tahun.

Keracunan kadmium akut pada ternak yang termakan atau terminum bahan yang tercemar kadmium dengan dosis 350 mg kadmium akan mengakibatkan keracunan dengan gejala mual, diare, kejang perut dan hipersalivasi. Keracunan kadmium pada manusia terjadi sangat erat kaitannya dengan kualitas lingkungan yang menurun. Gejala yang timbul terlihat setelah keracunan dalam waktu lama. Akumulasi kadmium pada manusia setelah kadmium terakumulasi dalam ginjal sampai jumlah 50 $\mu\text{g/g}$ berat basah dan dapat dijumpai pada umur 50 tahun. Konsentrasi kritis kadmium adalah 200 $\mu\text{g/g}$ pada saat terjadi kegagalan ginjal. Gejala yang terlihat adalah glikosuria diikuti dengan diuresis dan aminuria, proteinuria, asiduria dan hiperkalsiuria (Darmono, 1995). Nriagu & Simmons (1987) menambahkan bahwa jalur kontaminasi kadmium dari tanah dan udara secara langsung dapat terlihat dari adanya deposisi kandungan kadmium pada bahan pangan (buah, tanaman, dan produk ternak).

Beberapa unsur nutrisi yang berpengaruh terhadap hadirnya kadmium dalam tubuh adalah seng, besi, tembaga, kalsium, piridoksin, asam kaskorbat, dan protein, yang interaksinya bersifat antagonisme. Kebanyakan toksisitas kadmium terjadi karena adanya defisiensi unsur tersebut di atas yang mengakibatkan meningkatnya absorpsi kadmium. Pada umumnya rendahnya *intake* unsur nutrisi esensial mengakibatkan bertambah parahnya toksisitas kadmium,

sedangkan *intake* yang tinggi dari unsur nutrisi esensial mengakibatkan berkurangnya efek toksisitas kadmium (Sudarwin, 2008).

Beberapa penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa ada hubungannya antara absorpsi kadmium dengan cadangan Fe dalam tubuh. Percobaan pada orang (pria dan wanita sukarelawan) yang diberi sarapan pagi mengandung 25 μg kadmium dalam bentuk CdCl_2 , menunjukkan bahwa 8,9% orang terlihat gejala adanya deposit Fe yang rendah, yang pada analisis serum feritin ditemukan kurang dari normal ($<20 \mu\text{g/mL}$) (Sudarwin, 2008).

