**II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini akan membahas mengenai : (1) Kadmium (Cd), (2) Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk), (3) Penyerapan Logam Berat pada Tanaman, (4) Metode *Blansing*, dan (5) Metode AAS.

* 1. **Kadmium (Cd)**
		1. **Karakteristik Kadmium**

Kadmium merupakan salah satu unsur pada golongan II B periode 5 dalam tabel periodik kimia. Kadmium mempunyai nomor atom 48, massa atom relatif 112,40, titik lebur 321oC, dan titik didih 767oC (Shadily, 1980). Kandungan Kadmium di dalam perairan tawar berkisar 0,0001-0,01 mg/L, sedangkan pada perairan laut sekitar 0,0001 mg/L (Effendie, 2003).

Berdasarkan pada sifat-sifat fisikanya, Kadmium merupakan logam yang lunak, *ductile*, berwarna putih seperti putih perak. Logam ini akan kehilangan kilapnya jika berada dalam udara yang basah atau lembab serta akan cepat mengalami kerusakan bila dikenai uap ammonia (NH3) dan sulfurhidroksida (SO2). Berdasarkan pada sifat-sifat kimianya, Kadmium di dalam persenyawaan yang dibentuknya pada umumnya mempunyai bilangan valensi 2+, sangat sedikit yang mempunyai bilangan valensi 1+ (Palar, 2004).

Kadmium ini ditemukan dalam bebatuan *Calamine* (Seng Karbonat). Kadmium mempunyai penyebaran sangat luas di alam, hanya ada satu jenis mineral kadmium di alam yaitu *greennockite* (KadmiumS) yang selalu ditemukan bersamaan dengan mineral *spalerite* (ZnS). Di udara, uap teroksidasi dengan cepat dan menghasilkan kadmium oksida. Kadmium dapat ditemukan dalam berbagai sumber alam namum yang paling melimpah terdapat dalam bijih seng, timah, dan tembaga sulfida. Sumber kadmium lainnya adalah bijih nitrat tetrahedrit-tenartile, yang dapat ditemukan pada lapisan air bagian atas yang dipengaruhi zona fotik dan produktivitas fitoplankton (Simpson, 1981 *in* Lestari, 2007).

Sumber antropogenik kadmium yang utama adalah tambang bijih, industri metalurgi, dan lumpur kotoran. Konsentrasi kadmium pada asap dari peleburan tembaga, timbal, nikel dan seng sulfida relatif tinggi karena logam tersebut mudah menguap(Chongprasith *et al.*, 1999).

Menurut Clark (1989) sumber kadmium yang masuk ke perairan berasal dari:

* 1. Uap, debu dan limbah dari pertambangan timah dan seng
	2. Air bilasan dari electroplating
	3. Besi, tembaga dan industri logam *non ferrous* yang menghasilkan abu dan uap serta air limbah dan endapan yang mengandung kadmium
	4. Seng yang digunakan untuk melapisi logam mengandung kira-kira 0, 2 % Kadmium sebagai bahan ikutan (*impurity*); semua Kadmium ini akan masuk ke perairan melalui proses korosi dalam kurun waktu 4-12 tahun.
	5. Pupuk phosfat dan endapan sampah.

Senyawa kadmium seperti KadmiumS, KadmiumCO3, dan Kadmium(OH)2 tidak larut dalam air. Fluorida, khlorida, bromida, iodida, nitrat, dan sulfat dari kadmium merupakan senyawa-senyawa yang relatif larut. Berbeda dengan turunan alkil merkuri, senyawa-senyawa alkil kadmium sangat tidak stabil, bereaksi dengan air dan udara basah pada kondisi alami. Oleh karena itu, senyawa tersebut tidak dipertimbangkan keberadaannya sebagai pencemar lingkungan (CEC, 1978).

Kadmium dalam perairan merupakan ion biovalen yang dapat terikat membentuk KadmiumCl2, KadmiumSO4, dan Kadmium(NO3)2 (Wu *in* Purbonegoro, 2005). Di perairan laut dengan sainitas 10 sampai dengan 35 ‰, didominasi oleh kandungan kompleks kadmium klorida (KadmiumCl2) (Chongprasith *et al*, 1999). Kadmium kloro (KadmiumCl2, KadmiumCl3 + and KadmiumCl-) banyak di temukan pada air laut pada pH 7 sampai 9.Hasil pengamatan kandungan kadmium dalam air laut dan sedimen dari estuari, perairan dekat pantai, laut dengan sirkulasi terbatas, perairan dasar selat, dan laut terbuka adalah 0,00001-0,0002 mg/L. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut, konsentrasi kadmium yang diinginkan untuk biota laut adalah 0,001 mg Kadmium/L atau1 μg Kadmium/L.

* + 1. **Proses Masuknya Kadmium ke Dalam Lingkungan**

Kadmium merupakan zat kimia yang tidak dapat didegradasi di alam. Kadmium bebas berada di lingkungan dan akan tetap berada didalam sirkuasi atau udara. Kadmium yang berikatan dengan senyawa logam berat lainnya biasanya akan mempengaruhi pembentukannya di air. Sumber utama Kadmium yang berasal dari alam adalah dari lapisan bumi atau kerak bumi seperti gunung berapi dan pelarutan batuan. Kadmium yang ada di udara bisa dibawa dengan proses yang berbeda-beda dan masuk kedalam lingkungan. Sumber utama kadmium dari alam masuk kedalam udara di lingkungan yaitu dari pegunungan, evaporasi, partikel tanah yang terbawa ke udara, dan kebakaran hutan.  Sumber lainnya bisa berasal dari manusia seperti asap kendaraan dan rokok. Kadmium yang ada

Kadmium yang ada di air berasal dari berbagai proses yaitu kadmium masuk kedalam perairan karena adanya proses erosi tanah, pelapukan batuan induk. Kadmium lebih banyak masuk kedalam air karena kegiatan manusia seperti perindustrian dimana limbah hasil dari pabrik tersebut dibuang langsung kedalam perairan yang akan terakumulasi di dasar perairan yang membentuk sedimen. Kadmium juga dapat masuk kedalam organisme yang hidup di air dimana Kadmium dapat masuk melalui oral, inhalasi atau dermal. Kadmium yang masuk kedalam tubuh suatu organisme contohnya seperti ikan, logam Kadmium akan terakumulasi pada ginjal dan hati karena kedua organ tersebut sangat spesifik untuk melawan racun yang masuk kedalam dalam tubuh.

Kadmium yang ada di dalam tanah dapat berasal dari alam dan antropogenik. Kadmium dapat masuk kedalam tanah karena adanya proses pelarutan batuan induk seperti batuan glasial dan alluvial. Manusia juga berkontribusi dalam proses masuknya kadmium kedalam lingkungan seperti penggunaan pupuk kimia, kotoran yang mengendap karena aktivitas manusia. Kadmium yang ada didalam tanah akan lebih lama terbawa atau terdistribusi dibandingkan kadmium yang ada pada udara dan air. Kadmium yang terakumulasi di dalam tanah akan menggangu organisme yang hidup di dalamnya seperti mikroorganisme, makroorganisme dan mollusca. Tanah yang mengandung kadmium akan teserap kandungan logamnya oleh organisme yang hidup pada lingkungan tanah tersenut seprti tanaman dan hewan.

* + 1. **Proses Masuknya Kadmium ke Dalam Tanaman**

Logam Kadmium kemungkinan dapat dibawa keseluruh bagian tanaman biasanya akumulasi dapat ditemukan pada bagian akar karena akar merupakan gerbang awal masuknya zat-zat kimia. Zat- zat yang akan masuk kedalam tubuh tumbuhan akan terseleksi begitu juga dengan logam Kadmium. Apabila Kadmium yang diperlukan hanya sedikit maka akan lebih banyak Kadmium yang terakumulasi dibagian akar tumbuhan. Beberapa tanaman mempunyai kemampuan yang sangat tinggi untuk menghilangkan berbagai pencemaran yang ada (*multiple uptake hyperaccumulator plant*), dan memiliki kemampuan menghilangkan pencemaran yang bersifat tunggal (*specific uptake hyperaccumulator*). Tanaman hiperakumulator adalah spesis tanaman yang mampu mentranslokasikan pencemar atau logam pencemar ke bagian pucuk tanaman lebih banyak daripada ke bagian akar tanpa mengalami gejala toksisitas. Tanaman ini dapat mengakumulasi lebih dari 10 ppm Hg, 100 ppm Kadmium, 1000 ppm Co, Cr, Cu, dan Pb, 10.000 ppm Ni dan Zn (Aiyen, 2004; Baker, dkk,2000)

Fenomena logam berat yang terkonsentrasi dalam jaringan ditemukan terkait dengan peran protein pengikat logam. Fungsi dari protein tersebut adalah mengikat logam, protein yang dapat mengikat logam tersebut adalah metalotionin (cys-x-cys, x adalah asam amino selain sistein, biasa disingkat dengan MT). Metalotionin merupakan kelompok protein spesifik non enzim yang memainkan peran sentral dalam metabolisme logam. Metalotionin digambarkan sebagai protein sitoplasma yang mempunyai maAAS molekul rendah (sekitar 10.000 dalton), dengan struktur yang tidak beraturan. Protein ini terdiri atas sistein dan kadang-kadang mengandung sedikit histidin atau asam amino aromatik lainnya. Hampir setiap metalotionin mempunyai residu 24 sistein dan dalam setiap 3 residu sistein mengikat 1 ion logam sehingga 1 metalotionin mengikat 8 ion logam. Konsekuensi dengan adanya sistein berarti pula metalotionin mempunyai sejumLah besar gugus tio (sulfidril, -SH). Gugus ini merupakan pengikat logam berat.  Jika kecepatan masuknya logam melebihi kecepatan sintesis metalotionin, maka akan terjadi pelimpahan logam dari metalotionin ke dalam penampung enzim. Efek toksik selanjutnya bergantung pada pengalokasian logam-logam essensial dari metaloenzim yaitu enzim yang membutuhkan ion logam spesifik sebagai kofaktor untuk mengkatalisis.  Reaksi sederhana antara logam berat dengan  gugus sulfidril   (-SH) adalah sebagai berikut.

2 R-SH +  Kadmium2+R-S-Kadmium-S-R  + 2 H+

Penarikan/penyerapan polutan oleh akar tumbuhan  berbeda untuk polutan organik dan anorganik. Polutan organik pada umumnya adalah buatan manusia dan xenobiotik pada tumbuh-tumbuhan. Akibatnya tidak ada pembawa untuk senyawa-senyawa organik ke dalam membran tumbuhan. Polutan organik cenderung berpindah masuk ke jaringan tumbuhan melalui difusi sederhana dan juga bergantung pada sifat-sifat bahan kimia tersebut (Briggs, et al.1982).

Sebaliknya polutan anorganik diserap dengan proses biologi lewat membran protein pembawa. Membran protein pembawa  ini terjadi secara alamiah sebab polutan-polutan anorganik biasanya bergabung dengan nutrien-nutrien itu sendiri (nitrat, fosfat, Cu, Mn, Zn). Polutan anorganik pada umumnya berada dalam bentuk ion sehingga tidak dapat melewati membran tanpa bantuan membran protein pembawa. Pencemar anorganik yang  terakumulasi dalam jaringan tumbuhan sering menyebabkan keracunan dan sekaligus merusak struktur dinding sel tumbuhan. Kadmium juga mengurangi penyerapan nitrat dan pengangkutannya dari akar ke pucuk, juga menghambat aktivitas enzim nitrat reduktase di dalam pucuk-pucuk tanaman (Pilon-Smits, 2005).

* + 1. **Dampak Kadmium bagi Kesehatan**

Kadmium (Cd) dalam tubuh terakumulasi dalam hati dan terutama terikat sebagai metalotionein mengandung unsur sistein, dimana Kadmium (Cd) terikat dalam gugus sufhidril (-SH) dalam enzim seperti karboksil sisteinil, histidil, hidroksil, dan fosfatil dari protein purin. Kemungkinan besar pengaruh toksisitas kadmium (Cd) disebabkan oleh interaksi antara kadmium (Cd) dan protein tersebut, sehingga menimbulkan hambatan terhadap aktivitas kerja enzim dalam tubuh (Darmono, 2001).

Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini berisiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium (Cd) berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal (Palar, 2004).

Gejala akut dan kronis akibat keracunan kadmium (Cd) yaitu (Sudarmaji dkk, 2006):

a. Gejala akut :

1) Sesak dada.

2) Kerongkongan  kering  dan  dada  terasa  sesak  (*constriction  of chest*).

3) Nafas pendek.

4) Nafas terengah-engah, distress dan bisa berkembang kearah penyakit radang

 paru -paru.

5) Sakit kepala dan menggigil.

6) Mungkin dapat diikuti kematian.

b. Gejala kronis:

1) Nafas pendek.

2) Kemampuan mencium bau menurun.

3) Berat badan menurun.

4) Gigi terasa ngilu dan berwarna kuning keemasan.

Menurut Palar (2004), efek kronis akibat toksisitas kadmium (Cd) pada manusia dapat dikelompokkan menjadi lima kelompok yaitu :

a) Efek kadmium (Cd) terhadap ginjal

Logam kadmium (Cd) dapat menimbulkan gangguan dan bahkan mampu menimbulkan kerusakan pada sistem yang bekerja di ginjal. Kerusakan yang terjadi pada sistem ginjal dapat dideteksi dari tingkat jumlah atau jumlah kandungan protein yang terdapat dalam urine. Petunjuk kerusakan yang dapat terjadi pada ginjal akibat logam kadmium (Cd) yaitu terjadinya asam amniouria dan glokosuria, dan ketidaknormalan kandungan asam urat kalsium dan fosfor dalam urine.

b) Efek kadmium (Cd) terhadap paru

Keracunan yang disebabkan oleh peristiwa terhirupnya uap dan atau debu kadmium (Cd) juga mengakibatkan kerusakan terhadap organ respirasi paru-paru. Kerusakan paru-paru tersebut dapat terjadi sebagai akibat dari keracunan kronis yang disebabkan oleh kadmium (Cd).

c) Efek kadmium (Cd) terhadap tulang

Efek keracunan kadmium (Cd) juga dapat mengakibatkan kerapuhan pada tulang. Gejala rasa sakit pada tulang sehingga menyulitkan untuk berjalan. Terjadi pada pekerja yang bekerja pada industri yang menggunakan kadmium (Cd). Penyakit tersebut dinamakan “itai-itai”.

d) Efek kadmium (Cd) terhadap sistem reproduksi

Daya racun yang dimiliki oleh kadmium (Cd) juga mempengaruhi sistem reproduksi dan organ-organya. Pada konsentrasi tertentu kadmium (Cd) dapat mematikan sel-sel sperma pada laki-laki. Hal inilah yang menjadi dasar bahwa akibat terpapar oleh uap logam kadmium (Cd) dapat mengakibatkan impotensi.

* 1. **Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk)**

Kangkung merupakan salah satu tanaman sayuran yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Umumnya tanaman ini tumbuh baik di tanah yang lembab bahkan dalam perairan seperti kolam atau sungai. Tanaman kangkung berasal dari India yang kemudian menyebar ke Malaysia, Birma, Indonesia, Cina Selatan, Australia, dan Afrika. Di Cina, sayuran ini dikenal sebagai *weng cai*. Di negara Eropa, kangkung biasa disebut *swamp cabbage*, *water convovulus*, atau *water spinach* (Marianto, 2009). Menurut Cronqruist (1981:895), tanaman kangkung memiliki sistem klasifikasi sebagai berikut:

Divisio : Magnoliophyta

Classis : Magnoliopsida

Sub classis : Asteriidae

Ordo : Solanales

Familia : Convolvulaceae

Genus : *Ipomoea*

Species : *Ipomoea aquatica* Forsk (Kangkung Air)

Menurut Backer & Brink (1963:496), kangkung merupakan tanaman dengan habitus herba yang tumbuh merambat di lahan yang basah atau tergenang air. Secara morfologi, tanaman ini memiliki panjang sekitar 30-50 cm dengan diameter batang berkisar antara 0,5–1,5 cm. Kangkung merupakan tanaman yang dapat tumbuh lebih dari satu tahun. Batang tanaman berbentuk bulat panjang, berbuku-buku, banyak mengandung air (*herbaceous*) dan batangnya berongga. Batang tanaman kangkung tumbuh merambat atau menjalar dengan percabangan yang banyak. Kangkung memiliki sistem perakaran tunggang, akarnya menjalar keseluruh arah dan dapat menembus tanah sampai kedalaman 60-100 cm serta dapat melebar ke arah horizontal pada radius 100-150 cm atau lebih.

Rukmana (2000) menyebutkan bahwa **di Indonesia dikenal dua jenis tanaman kangkung**, yakni kangkung darat yang disebut kangkung cina dan kangkung air yang tumbuh secara alami di sawah, rawa, atau parit. Perbedaan antara kangkung darat dan kangkung air terletak pada warna bunga. Kangkung darat memiliki bunga berwarna putih bersih, sedangkan kangkung air berbunga putih keunguan. Perbedaan lainnya terletak pada bentuk daun dan batang. Kangkung darat memiliki batang dan daun lebih kecil dibandingkan dengan kangkung air yang memiliki batang lebih besar dan daun lebih lebar. Batang kangkung darat berwarna putih kehijau-hijauan, sedangkan batang kangkung air berwarna hijau. Pada kangkung air, tangkai daun melekat pada buku-buku batang dan di ketiak daun terdapat mata tunas yang dapat tumbuh menjadi percabangan baru. Morfologi tanaman kangkung air dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.1. Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatia* Forsk)

Menurut Rukmana (2000), tanaman kangkung air dapat hidup pada dataran rendah hingga 1000m di atas permukaan laut. Pada umumnya tanaman kangkung memerlukan tanah yang sangat basah dan lembab, berlebih pada jenis kangkung air. Tanaman ini tidak hanya memerlukan lingkungan yang lembab tetapi juga kandungan air yang cukup tinggi untuk keberhasilan hidupnya. Di samping memerlukan kandungan air yang tinggi, tanaman ini juga memerlukan cahaya matahari yang cukup serta suhu optimum yang berkisar antara 250-300 C, oleh karena itu tanaman kangkung dapat tumbuh dengan baik pada daerah tropis seperti Indonesia.

Beberapa varietas tanaman kangkung yang biasa ditanam adalah varietas Bangkok LP1, Serimpi dan *Large leaf*. Berdasarkan analisis morfologi dan wawancara yang telah dilakukan, tanaman kangkung yang biasa dibudidayakan di daerah Jawa Barat termasuk ke dalam varietas Serimpi (Susila, 2006). Dalam budidaya kangkung air bibit berasal dari tanaman muda yang memiliki daun besar dan ditanam dengan cara stek batang. Pada sebagian besar lahan, kangkung air biasanya ditanam pada tanah di bantaran sungai yang memang telah tergenang dengan air atau lumpur. Bibit ditanam pada jarak lubang tanam sekitar 20x20 cm dan dengan kedalaman 5cm. Pemupukan kemudian dilakukan setelah tanaman berumur lebih dari tiga minggu setelah tanam dengan cara ditebar yang kemudian dilanjutkan dengan pemberian pestisida jika diperlukan. Pemanenan pertama dilakukan ketika tanaman sudah berumur kurang lebih empat minggu, dengan cara memotong bagian batang atas hingga pucuk, selanjutnya sisa cabang dibiarkan tumbuh terus sampai dapat dipanen kembali. Tanaman kangkung air dapat dipanen lebih dari 20 kali selama satu kali masa tanam atau hingga tanaman berumur kurang lebih dua tahun. Hasil panen tanaman kangkung air ini berkisar antara 7-30 ton/ha produk segar setiap kali panen, dan pertahunnya dapat mencapai 400 ton/ha (Susila, 2006).

Bagian tanaman kangkung yang paling penting adalah batang muda dan pucuknya sebagai bahan sayur-mayur. Kangkung mempunyai rasa manis, tawar dan sejuk. Efek farmakologis tanaman ini sebagai antiracun (antitoksik), antiradang, peluruh kencing (diuretik), menghentikan perdarahan (hemostatik) dan sedatif (obat tidur). Kangkung juga bersifat menyejukkan dan menenangkan (Rukmana, 2000). Kegunaan kangkung air dalam mengatasi berbagai masalah kesehatan tersebut tidak terlepas dari kandungan nutrisinya yang cukup tinggi. Tabel 2.1 menjelaskan komposisi nutrisi yang terkandung di dalam 100 g tanaman kangkung air.

Tabel 2.1. Komposisi dan Jumlah Nutrisi pada Tanaman Kangkung

| Komposisi |  Jumlah |
| --- | --- |
|  Protein |  3,00 g |
|  Lemak |  0,30 g |
|  Hidrat arang |  5,40 g |
|  Kalsium |  73,0 g |
|  Fosfor |  50,0 g |
|  Besi |  2,50 g |
|  Vitamin A |  6300,00 g |
|  Vitamin B-1 |  0,07 g |
|  Vitamin C |  32,00 g |
|  Air |  87,70 g |

 Sumber : Direktorat gizi, Depkes RI, 1972 (Rukmana, 2000)

* 1. **Penyerapan Logam Berat pada Tumbuhan**

Menurut Darmono (1995:16), naiknya ketersediaan logam dalam tanah dapat meningkatkan kandungan logam dalam tanaman. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada kandungannya dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimianya di dalam tanah, jenis logam, dan spesies tanaman. Logam berat yang terikat dengan asam kompleks dan garam kompleks dalam tanah, kurang dapat digunakan oleh akar tanaman daripada ion logam yang bebas. Darmono (1995:16) juga menyebutkan bahwa ion logam yang terikat tersebut sifatnya kurang toksik terhadap tanaman.

Fitter & Hay (1991) menyatakan bahwa tumbuhan memiliki kemampuan untuk menyerap ion-ion dari lingkungannya kedalam tubuh melalui membran sel. Dua sifat penyerapan ion oleh tumbuhan adalah faktor konsentrasi, yaitu kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi ion sampai tingkat konsentrasi tertentu, bahkan dapat mencapai beberapa tingkat lebih besar dari konsentrasi ion di dalam mediumnya, selanjutnya faktor kebutuhan hara yang berbeda pada tiap jenis tumbuhan.

Fitter & Hay (1991) juga menjelaskan bahwa terdapat dua jalan masuknya logam berat ke dalam tumbuhan yaitu melalui akar dan daun. Akar merupakan organ pada tumbuhan yang berfungsi sebagai organ penyerap dan penyalur unsur-unsur hara ke bagian lain. Sesuai dengan fungsinya, maka akar akan banyak menyerap unsur hara sehingga akumulasi logam akan lebih tinggi di akar dibandingkan dengan bagian batang dan daun. Menurut Islami & Utomo (1995:113), fungsi akar bagi tumbuhan selain menegakkan batang, juga berperan penting dalam mengabsorbsi unsur hara serta melakukan aktivitas metabolisme dalam membentuk berbagai persenyawaan kemudian mengalirkannya ke batang dan daun. Akar tumbuhan air memiliki rongga akar (korteks) yang besar sehingga menyebabkan proses penyerapan semakin cepat.

Penyerapan ion di akar tersebut terjadi secara aktif dimana ion-ion masuk dari epidermis dan selanjutnya ditransportasikan ke sitoplasma atau sel-sel jaringan akar, ion kemudian melewati epidermis dan masuk ke protoplas antar sel-sel jaringan akar yaitu korteks, endodermis, perisikel dan xilem. Pada endodermis terdapat pita kaspari sehingga menyebabkan akumulasi partikel yang lebih berat di dalam akar. Secara singkat, logam masuk ke akar secara simplas atau apoplas, kemudian melewati pita kaspari dan berakhir di xilem. Sesampainya di xilem, logam ditransportasikan ke daun atau batang, dalam jaringan inilah logam akan mengalami detoksifikasi dan disimpan dalam dinding sel, sitosol atau vakuola (Gothberg,2008). Penyerapan logam melalui daun diduga merupakan pergerakan pasif air melalui retakan yang terdapat pada kutikula atau stomata, kemudian masuk melalui dinding sel dan akhirnya ke plasmalema. Semakin tinggi konsentrasi yang tersedia dalam substrat, semakin tinggi pula jumLah yang terserap dan tertimbun dalam tumbuhan (Darmono*,* 1995:16).

Fitter & Hay (1991), menjelaskan bahwa penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian jaringan tertentu untuk menjaga agar metabolisme tidak terhambat. Proses pertama dalam penyerapan logam berat yaitu tumbuhan membentuk suatu enzim reduktase di membran akarnya. Enzim reduktase ini berfungsi untuk mereduksi logam yang selanjutnya diangkut melalui mekanisme khusus di dalam membran akar. Translokasi logam berat terjadi setelah logam memasuki sel akar kemudian logam diangkut melalui xilem ke bagian tumbuhan yang lain. Lokalisasi logam pada jaringan bertujuan untuk mencegah toksisitas logam terhadap sel, yang salah satunya dapat berupa mekanisme dotoksifikasi misalnya dengan menimbun unsur logam pada akar dan trikoma.

Penyerapan logam oleh tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain pH tanah, temperatur, konsentrasi logam pada substrat, waktu kontak tumbuhan dengan logam serta kadar logam dalam perairan. Selain itu, kandungan materi organik, potensial oksidasi-reduksi, komposisi dan tipe mineral, serta konsentrasi ion-ion terlarut di tanah lainnya juga turut mempengaruhi tingkat penyerapan logam dari tanah (Alloway, 1990:189). Kemampuan tumbuhan untuk menyerap logam dipengaruhi oleh empat faktor penting diantaranya, sifat geokimia sedimen, kimia-fisik air, fisiologi dan genotip dari tumbuhan. Dua faktor utama merupakan faktor yang menentukan keberadaan bentuk logam sedangkan dua faktor terakhir sebagai faktor yang menentukan kemampuan tumbuhan untuk mengakumulasi logam pada jaringannya. Fisiologis dan sifat genotip tumbuhan menentukan terjadinya akumulasi dalam tubuh tumbuhan. Logam yang diserap oleh tumbuhan akan ditransfer ke dalam sel-sel tumbuhan (Lepp, 1981).

Gothberg (2008) juga menyatakan bahwa hampir setiap jenis tanaman memiliki kemampuan untuk menyerap Kadmium dalam jumLah tertentu ke dalam jaringannya. Penyerapan logam oleh tumbuhan terendam seperti kangkung dapat dilakukan oleh akar yang menyerap logam dari sedimen maupun oleh daun yang menyerap logam dari air dan udara di sekelilingnya. Sharma & Dubey (2005:40) juga menyatakan bahwa secara umum, akar tanaman memiliki kemampuan untuk menyerap Kadmium dalam jumLah besar tetapi bersamaan dengan itu, translokasi ke bagian tanaman di atas permukaan tanah sangat terbatas, oleh sebab itu terdapat kecenderungan bahwa Kadmium yang diambil tanaman tetap tersimpan di akar.

Sharma & Dubey (2005:41) menyebutkan bahwa pada permukaan akar, Kadmium berikatan dengan kelompok karboksil dari lendir. Ikatan ini membatasi penyerapan logam berat oleh akar dan membangun suatu barier yang melindungi sistem akar. Saat lendir mengalami biodegradasi, logam berat yang terikat akan dilepaskan. Cd (Kadmium) diangkut dari tanah ke sel-sel akar melewati membran plasma sel akar yaitu melalui Ca-channel yang terdapat pada membran plasma. Pergerakan Kadmium dalam akar selanjutnya terjadi secara apoplas, melewati korteks dan ditimbun dekat endodermis yang berfungsi sebagai barier pergerakan Kadmium dantara akar dan pucuk, Kadmium kemudian diangkut dari endodermis ke jaringan pembuluh secara simplas. Menurut Hutagalung (1991), setelah Kadmium masuk ke dalam tumbuhan, logam ini akan diikat oleh membran sel, mitokondria dan kloroplas, sehingga menyebabkan kerusakan fisik. Kerusakan tersembunyi dapat berupa penurunan penyerapan air, pertumbuhan yang lambat, atau pembukaan stomata yang tidak sempurna.

Pola distribusi Kadmium dari akar sangat bergantung pada konsentrasi Kadmium yang masuk. Pada konsentrasi rendah ion bergerak terutama secara apoplas, sedangkan pada konsentrasi tinggi dimana fungsi penahan plasmalema dirusak, sejumLah besar Kadmium akan masuk ke dalam sel (Sharma & Dubey, 2005:41). Pada umumnya Kadmium di bagian tanaman yang dekat dengan permukaan tanah akan berkurang sejalan dengan peningkatan jarak dari akar. Hal ini terjadi karena penimbunan Kadmium di bagian dinding sel akar terjadi lebih besar dibandingkan dengan bagian lainnya. Pola kandungan Kadmium di berbagai organ tanaman sangat bervariasi bergantung spesies tapi secara umum, kandungan akan berkurang mengikuti pola: Akar>daun>batang>bunga>buah>biji (Cheng, 2003:195).

* 1. **Metode *Blansing***

 *Blansing* merupakan suatu cara pemanasan pendahuluan atau perlakuan pemanasan tipe pasteurisasi yang dilakukan pada suhu kurang dari 100oC selama beberapa menit, dengan menggunakan air panas atau uap. Proses *blansing* termasuk ke dalam porses termal dan umumnya membutuhkan suhu berkisar 75 - 95°C selama 10 menit. Tujuan utama *blansing* ialah menginaktifan enzim diantaranya enzim peroksidase dan katalase, walaupun sebagian dari mikroba yang ada dalam bahan juga turut mati. Kedua jenis enzim ini paling tahan terhadap panas. *Blansing* biasanya dilakukan terhadap sayur-sayuran dan buah-buahan yang akan dikalengkan atau dikeringkan. Di dalam pengalengan sayur-sayuran dan buah-buahan, selain untuk menginaktifkan enzim, tujuan *blansing* yaitu :

* Membersihkan bahan dari kotoran dan mengurangi jumLah mikroba dalam bahan
* Mengeluarkan atau menghilangkan gas-gas dari dalam jaringan tanaman, sehingga mrngurangi terjadinya pengkaratan kaleng dan memperoleh keadaan vakum yang baik dalam “headspace” kaleng.
* Melayukan atau melunakkan jaringan tanaman, agar memudahkan pengisian bahan ke dalam wadah
* Menghilangkan bau dan flavor yang tidak dikehendaki
* Menghilangkan lendir pada beberapa jenis sayur-sayuran
* Memperbaiki warna produk, a.l. memantapkan warna hijau sayur-sayuran

Cara melakukan *blansing* ialah dengan merendam dalam air panas (merebus) atau dengan uap air (mengukus atau dinamakan juga “steam blanching”). Merebus yaitu memasukkan bahan ke dalam panci yang berisi air mendidih. Sayur-sayuran atau buah-buahan yang akan di*blansing* dimasukkan ke dalam keranjang kawat, kemudian dimasukkan ke dalam panci dengan suhu *blansing* biasanya mncapai 82 – 83°C selama 3 – 5 menit. Setelah *blansing* cukup waktunya, kemudian keranjang kawat diangkat dari panci dan cepat-cepat didinginkan dengan air.

Pengukusan tidak dianjurkan untuk sayur-sayuran hijau, karena warna bahan akan menjadi kusam. Caranya ialah dengan mengisikan bahan ke dalam keranjang kawat, kemudian dimasukkan ke dalam dandang yang berisi air mendidih. Dandang ditutup dan langkah selanjutnya sama dengan cara perebusan.

Kemampuan proses *blansing* sebagai perlakuan pendahuluan untuk mendapatkan produk yang baik didasari oleh beberapa fungsi, yaitu :

* 1. Menginaktivasi enzim yang dapat menyebabkan perubahan kualitas bahan pangan, terutama bahan pangan segar yang mudah mengalami kerusakan akibat aktivitas enzim yang tinggi. Bahan pangan yang mudah mengalami kerusakan jenis ini adalah buah-buahan dan sayur-sayuran. Aktivitas enzim ini terkait karakteristik biologi, fisiologi, dan hidratasi bahan pangan. Akibat buruk akibat aktivitas enzim lebih tampak jika pada proses pengolahan terjadi penundaan. Beberapa enzim oksidatif yang menjadi inaktif pada proses *blansing* adalah peroksidase, katalase, polifenol oksidase, lipoksigenase, dan lain-lain.

Sebagai contoh *blansing* dilakukan sebagai perlakuan pendahuluan pada proses pembuatan sari buah apel dengan tujuan untuk menginaktifkan enzim polifenolase. Enzim polifenolase dapat mengkatalis reaksi oksidasi terhadap senyawa fenol yang mengakibatkan pembentukan warna coklat yang tidak dikehendaki karena merusak penampilan produk dan tidak disukai konsumen.

* 1. Mengurangi gas antarsel untuk mengurangi perubahan oksidatif. Berkurangnya gas antarsel berakibat pada menurunya kadar oksigen dalam bahan, sehingga akan berakibat pada menurunya aktivitas enzim oksidatif yang aktifitasnya dipengaruhi oleh kandungan oksigen dalam bahan.
	2. Selain inaktifasi enzim, prinsip proses *blansing* yang menggunakan pemanasan juga akan menurunkan aktifitas bahkan mematikan mikroorganisme.

Namun selain dari keuntungan yang diperoleh dari proses *blansing* tersebut, ada juga kekurangan dari proses tersebut, yaitu efek negatif berupa kehilangan zat gizi yang sensitif terhadap pemanasan. Zat gizi yang sensitif terhadap pemanasan akan larut pada proses *blansing* yang dilakukan dengan metode perebusan.

Proses *blansing* dibutuhkan jika terdapat waktu tunggu sebelum perlakuan panas pada proses pengeringan atau pengalengan dilakukan. Proses *blansing* juga diperlukan jika tidak terdapat perlakuan panas pada produk selama pengolahan seperti pada pembekuan.

Secara garis besar metode *blansing* yang sering diterapkan ada 2 (dua), yaitu : *blansing* dengan air panas, dan *blansing* dengan uap panas.

1. *Blansing* dengan air panas (*Hot Water Blanching*)

Metode *blansing* ini hampir sama dengan proses perebusan. Metode ini cukup efisien, namun memiliki kekurangan yaitu kehilangan komponen bahan pangan yang mudah larut dalam air serta bahan yang tidak tahan panas.

2. *Blansing* dengan uap air panas (*Steam Blanching*)

*Blansing* dengan metode ini paling sering diterapkan. Metode ini mengurangi kehilangan komponen yang tidak tahan panas.

* 1. **Metode AAS**

*Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) adalah metode pengukuran spektrum yang berkaitan dengan serapan dan emisi atom. Bila suatu molekul mempunyai bentuk spektra pita, maka suatu atom mempunyai spektra garis. Atom-atom yang terlibat dalam metode pengukuran spektrometri atomik haruslah atom-atom bebas yang garis spektranya dapat diamati. Pengamatan garis spektra yang spesifik ini dapat digunakan untuk analisis unsur baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Absorbsi (serapan) atom adalah suatu proses penyerapan bagian sinar oleh atom-atom bebas pada panjang gelombang tertentu dari atom itu sendiri sehingga konsentrasi suatu logam dapat ditentukan. Karena absorbansi sebanding dengan konsentrasi suatu analit, maka metode ini dapat digunakan untuk sistem pengukuran atau analisis kuantitatif.

*Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dalam kimia analitik dapat diartikansebagai suatu teknik untuk menentukan konsentrasi unsur logam tertentu dalam suatu cuplikan. Teknik pengukuran ini dapat digunakan untuk menganalisis konsentrasi lebih dari 62 jenis unsur logam. Teknik *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dikembangkan oleh suatu tim peneliti kimia Australia pada tahun 1950-an, yang dipimpin oleh Alan Walsh, di CSIRO *(Commonwealth Science and Industry Research Organization)* bagian kimia fisik di Melbourne, Australia.

Teknik AAS dibedakan menjadi dua, yakni teknik AAS dengan *flame* dan dengan *Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer* (GFAAS). Berikut ini akan dijelaskan perbedaan kedua jenis teknik AAS tersebut.

* + 1. **Teknik AAS dengan *Flame***

Pada teknik AAS ini, unsur-unsur dalam cuplikan diidentifikasi dengan sensitivitas dan limit deteksi pada teknik pengukuran ini dapat mencapai 1 mg/L (1 ppm) bila menggunakan lampu nyala biasa dan dapat dicapai sampai 0,1 ppm dengan menggunakan prosedur AAS yang lebih canggih.

Cara kerja AAS berdasarkan atas penguapan larutan sampel, kemudian logam yang terkandung didalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut mengabsorbsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan dari lampu katoda yang mengandung unsur yang akan ditentukan. Banyaknya penyerapan radiasi kemudian diukur pada panjang gelombang tertentu menurut jenis logamnya. Jika radiasi elektomagnetik dikenakan kepada suatu atom maka akan terjadi eksitasi elektron dari tingkat dasar ke tingkat tereksitasi, setiap panjang gelombang memiliki energi yang spesifik untuk dapat tereksitasi ke tingkat yang lebih tinggi. Besarnya energi tersebut dapat dihitung menggunakan rumus :

E = 

Keterangan :

E = Energi

h = Tetapan Planck ( 6,63 x 10-34 J.s)

c = kecepatan cahaya (3 x 108 m/s)

λ = panjang gelombang (nm)

Setelah mengalami eksitasi maka akan dipancarkan energi, tetapi yang akan dideteksi oleh detektor adalah cahaya yang diserap.

*Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) terdiri dari sumber cahaya, ruang sampel dan detektor. Dalam metode ini, cahaya dari sumber langsung diteruskan dari sampel ke detektor. Semakin besar jumLah sampel, maka semakin besar pula serapan yang dihasilkan sampel. Sumber cahayanya adalah lampu berupa katoda yang terdiri dari bagian-bagian yang teratur. Setiap unsur membutuhkan lampu katoda yang berbeda. Lampu tersebut ditempatkan di dalam ruang khusus lampu.

Ruang sampel adalah pembakar sejak sumber api menyerap radiasi atom. Sinyal dari detektor dipindahkan ke komputer, dan hasilnya dapat dilihat di monitor alat AAS. Untuk sampel yang akan dianalisis di dalam pembakar, dapat dilakukan persiapan larutan sampel di dalam pelarut yang cocok, kebanyakan dalam air.

Gas dari panas mengalir ke dalam pembakar sehingga menarik cairan ke dalam tabung daari ruang sampel. Cairan ini diubah dimana ion mengalami atomisasi. Atom menyerap cahaya dari sumber. Analisis kuantitatif ini bisa dicapai dengan kadar serapan larutan dengan konsentrasi yang diketahui. Kurva kalibrasi dan persamaan garis bisa digunakan untuk menentukan konsentrasi berdasarkan serapannya.



**Gambar 2.2. Alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)**



Gambar 2.3. Instrumentasi AAS

Sebagai sumber radiasi resonansi digunakan lampu katoda rongga (hoolow cathode lamp). Di muka lampu katoda rongga terdapat komponen yang disebut baling-baling (chopper) yang berfungsi mengatur frekuensi radiasi resonansi yang dipancarkan dari lampu, sehingga energi radiasi ini oleh ”photomultiplier” diubah menjadi energi listrik. Atomizer terdiri atas sistem pengabut (nebulizer) dan sistem pembakar (burner), sehingga sistem atomizer disebut juga dengan sistem pengabut-pembakar (burner nebulizer system). Setelah radiasi resonansi dari lampu katoda rongga melalui populasi atom di dalam nyala, energi radiasi ini sebagian diserap dan sebagian lagi diteruskan. Fraksi radiasi yang diteruskan dipisahkan dari radiasi lainnya. Pemilihan atau pemisahan radiasi tersebut dilakukan oleh monokromator yang terdiri dari sistem optik, yaitu cermin dan grating.

Intensitas radiasi yang diteruskan ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh photomultiplier dan selanjutnya diukur dengan detektor dan dicatat oleh alat pencatat yang biasa berupa rekorder, printer, atau pengamatan angka.



Gambar 2.4. Hallow Cathode Lamp

Berikut ini adalah tabel beberapa warna nyala logam :

Tabel 2.2. Beberapa Nyala Logam

| **Logam** | **Warna nyala** |
| --- | --- |
| Kalsium (Ca) | Merah |
| Stronsium (Sr) | Merah Tua /Jingga |
| Natrium (Na) | Kuning |
| Tembaga (Cu) | Hijau |
| Mangan (Mn) | Nila |
| Kalium (K) | Lembanyung |
| Barium (Ba) | Hijau Kekuningan |

* + 1. **Teknik *Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer* (GFAAS)**

Teknik AAS dengan pengatoman secara elektrotermal atau *Graphite Furnace* AAS sering digunakan untuk analisis unsur-unsur logam dengan sensitivitas dan batas pendeteksian 20 sampai 1000 kali lebih baik dari pada teknik *flame*. Hal tersebut diakibatkan oleh suatu peningkatan kepadatan atom di dalam tungku.

Beberapa unsur dapat ditentukan pada konsentrasi rendah seperti 1.0 μg/L (ppb). Suatu keuntungan lain adalah volume sampel yang diperlukan sangat kecil (< 1mL) dan bobot sampel yang digunakan juga tidak terlalu besar (miligram). Spektrometri elektrotermal didasarkan pada prinsip yang sama seperti atomisasi nyala tetapi di sini “burner” dalam nyala digantikan dengan “atomizer” atau “furnace” yang dipanaskan dengan listrik.

Dalam system pemanasan tersebut terdapat *power supply* dan *controller* yang dapat diatur sedemikian rupa sehingga mengendalikan perubahan temperatur dalam atomizer tersebut (Fuller 1977). Akibatnya proses pengatoman seperti yang terjadi dalam nyala dapat terjadi. Peralatan lain seperti *Hollow Cathode Lamp* (HCL), monokromator, detektor adalah seperti dalam spektrometri serapan atom dengan teknik *flame*.

Teknik GF-AAS terdapat tiga bagian utama yaitu sumber cahaya, tempat sampel dan alat pendeteksi serapan (Beaty 1993; Fuller 1977) Bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Skema Blok GF-AAS

(Sumber : Prasetyo, 2006)

Pemakaian sumber cahayanya dapat menggunakan *Hollow Cathode Lamp* (HCL) yaitu sumber cahaya yang memiliki garis spektrum terang dan jelas untuk setiap jenis unsur logam.

Atomizer adalah tempat untuk proses pembentukan atom (atomisasi) yang terbuat dari karbon graphite dan dialirkan gas inert untuk mencegah terbentuknya oksidasi analit yang stabil. Ukurannya sangat kecil dengan panjang 3 cm serta diameter dalam 4-6 mm. Dindingnya dilapisi dengan lapisan yang dapat mencegah difusi analit atau matrik ke dalam dinding yang disebut platform terbuat dari “*pyrolytic graphit”*. Penggunaan platform memperpanjang waktu pemakaian atomizer.

Pembacaan serapan terdiri dari monokromator, detektor, *amplifier*, *Control Processor Unit* (CPU) (digunakan sebagai tampilan signal serapan dan penyimpanan data). Cahaya dari sumber lampu harus terfokus pada sampel dan diarahkan pada monokromator agar panjang gelombang lampu dapat dihamburkan melalui *grating* (terali pemisah) sehingga panjang gelombang yang diinginkan saja yang difokuskan ke detektor. Sebelum masuk ke detektor spektrum garis spesifik dari monokromator diperkuat oleh *amplifier* terkebih dahulu. Pembacaan sinyal absorpsi akan dideteksi oleh detektor dan ditampilkan pada monitor CPU untuk kemudian dilakukan analisis data (Beaty dan Jack 1993). Prinsip kerja monokromator tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Prinsip Kerja Monokromator pada AAS

(Sumber : Prasetyo, 2006)

Kelebihan teknik GFAAS dalam analisis, yaitu memiliki kepekaan yang lebih tinggi dalam mengukur analit yang konsentrasinya sangat rendah (μg/L atau ppb), dapat menganalisis sampel yang minim kuantitasnya (berat dan volume yang dibutuhkan rendah) dan analisis dapat dilakukan tanpa preparasi sampel (sampel langsung diinjeksikan ke dalam atomizer, khususnya sampel cair yang kental seperti urine, serum, darah dan susu) (Slavin 1978; Fuller 1977; Sturgeon 1977).

* + - 1. **Tahapan Atomisasi**

Proses pengatoman dilakukan dalam beberapa tahap yaitu meliputi tahap *drying* (pengeringan atau penguapan air dan zat yang mudah menguap pada suhu 200oC, dibutuhkan waktu sekitar 30-40 detik untuk kering dan residu berupa lapisan tipis padatan).

Tahap *ashing* atau pengabuan (menghilangkan atau menguapkan matriks organik dan sebagian anorganik pada suhu 300-1500oC dan meninggalkan analit yang stabil dalam atomizer, residu yang ditinggalkan berbentuk molekul dari analit). Tahap *atomization* (dekomposisi senyawa analit pada suhu tinggi hingga 3000oC menghasilkan atom-atom analit dan aliran gas inert bisa dihentikan untuk memperpanjang waktu tinggal atom-atom analit sehingga bisa diukur dengan kepekaan tinggi).

Tahap yang terakhir adalah *cleaning* (suhumya tergantung jenis analit, biasanya 2500-2900oC bertujuan menghilangkan atau membersihkan residu yang tertinggal di dalam atomizer) (Fuller 1977; Beaty dan Jack 1993)

* + - 1. **Gangguan Analisis pada GF-AAS**

Gangguan yang umum dihadapi dalam analisis ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu pembentukan senyawa karbida atau senyawa yang sangat stabil, terjadinya interaksi antara analit dengan komponen yang lain dalam fasa gas sehingga menghambat terbentuknya atom analit, analit membentuk senyawa yang mudah menguap dengan komponen yang ada dalam matriks sehinggaanalit ikut hilang (menguap) pada tahap *ashing*. Gangguan matriks contoh dalam analisis dengan GF-AAS ini cukup rumit, maka untuk menetralisir gangguan matriks dapat menggunakan *“matriks modifiers”*.

* + - 1. **Matriks Modifier**

GF-AAS lebih dipengaruhi oleh senyawa pengganggu dibandingkan denga`n metode *Flame*. Untuk menekan adanya senyawa pengganggu, diperlukan sebuah metode penambahan reagen spesifik yang telah banyak dipelajari, dan kita kenal dengan *matriks modifier.* Matriks modifier merupakan zat yang sering digunakan dalam analisis dengan teknik *graphite furnace* yang ditambahkan berlebih di dalam larutan standar dan contoh dengan tujuan merubah analit ke bentuk yang lebih stabil terhadap panas atau merubah matriks contoh atau komponen ke bentuk yang lebih mudah menguap (Beaty dan Jack 1993).

* + - 1. **Destruksi atau Pengabuan**

Analisis unsur-unsur logam atau mineral dalam contoh-contoh biologis dan bahan organik lainnya dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya yang bisa dipakai adalah melarutkan (mendestruksi) contoh lebih dahulu. Mendestruksi contoh dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu cara destruksi kering dan cara destruksi basah.

Destruksi kering, contoh dipanaskan secara bertahap di udara terbuka untuk menguapkan air, menguraikan dan mengokasidasi contoh, dimana akhirnya contoh diabukan dalam tungku pemanas pada suhu maksimum yang berkisar antara 450-600oC, tergantung dari pada contoh yang dihadapi. Dalam proses ini kadang-kadang digunakan bahan pembantu pengabuan atau “*ashing aids*” yang berupa bahan kimia seperti asam nitrat, asam sulfat, magnesium nitrat, dan lain-lain yang bertujuan untuk mempermudah dan mempercepat proses oksidasi dan untuk mencegah kehilangan unsur -unsur analit yang akan diukur.

Destruksi basah disebut juga oksidasi basah. Cara ini biasanya digunakan untuk penentuan logam dengan kadar rendah dan logam beracun. Cara yang paling lazim digunakan dalam destruksi basah dengan menggunakan asam nitrat sebagai pengokasidasi atau dengan dikombinasi dengan asam lain seperti asam sulfat, asam perklorat, dan hidrogen peroksida. Kombinasi dengan asam sulfat diperlukan untuk menaikkan suhu sehingga bahan organik yang sukar dioksidasi pada titik didih asam nitrat akan bisa dioksidasi dengan sempurna pada suhu yang jauh di atasnya.