

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pencemaran Lingkungan

Perkembangan teknologi dan industri yang pesat dewasa ini membawa dampak bagi kehidupan manusia, baik dampak yang bersifat positif maupun dampak yang bersifat negatif (Wardhana, 1999).

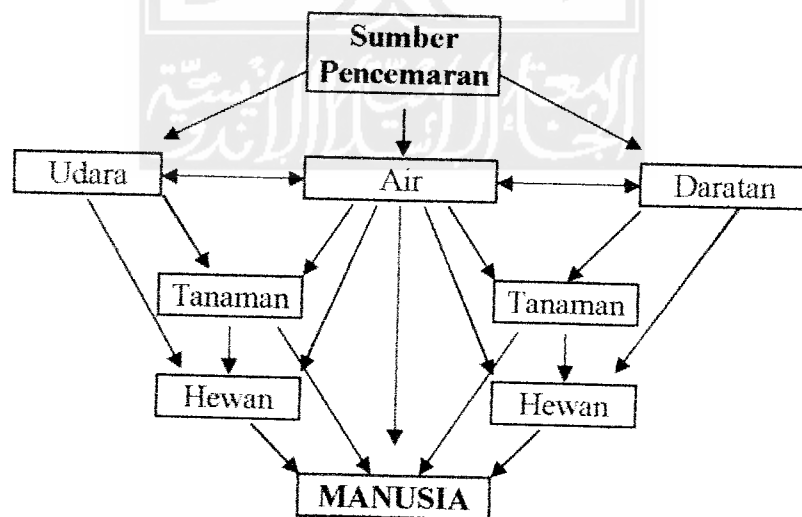
Pencemaran merupakan perubahan yang tidak dikehendaki dari lingkungan hidup yang sebagian besar akibat dari kegiatan manusia. Perubahan ekosistem atau habitat dapat berupa perubahan secara fisik, kimia atau perilaku biologis yang akan mengganggu kehidupan manusia, spesies biota bermanfaat, proses-proses industri, kondisi kehidupan, dan asset kultural. Selain itu dapat pula merusak atau menghancurkan secara sia-sia sumber daya bahan mentah yang ada di alam (Thayib, 1994).

Air sebagai komponen lingkungan hidup akan mempengaruhi dan dipengaruhi oleh komponen lainnya. Air yang kualitasnya buruk akan mengakibatkan kondisi lingkungan hidup menjadi buruk sehingga akan mempengaruhi kondisi kesehatan dan keselamatan manusia serta kehidupan makhluk hidup lainnya. Penurunan kualitas air akan menurunkan daya guna, hasil guna, produktivitas, daya dukung dan daya tampung dari sumber daya air yang pada akhirnya akan menurunkan kekayaan sumber daya alam (Anonim, 2002).

Pencemaran yang dapat ditimbulkan oleh limbah ada bermacam-macam bentuk. Ada pencemaran berupa bau, warna, suara dan bahkan pemutusan mata

rantai dari suatu tatanan lingkungan hidup atau penghancuran suatu jenis organisme yang pada tingkat akhirnya akan menghancurkan tatanan ekosistemnya. Pencemaran yang dapat menghancurkan tatanan lingkungan hidup, biasanya berasal dari limbah-limbah yang sangat berbahaya dalam arti memiliki daya racun (toksisitas) yang tinggi.

Dampak pencemaran lingkungan tidak hanya berpengaruh dan berakibat kepada lingkungan alam saja, akan tetapi berakibat dan berpengaruh pula terhadap kehidupan tanaman, hewan dan juga manusia. Apabila lingkungan alam telah tercemar sudah barang tentu tanaman yang tumbuh di lingkungan tersebut akan ikut tercemar, demikian pula hewan yang hidup di situ. Pada akhirnya manusia sebagai makhluk hidup yang omnivora akan ikut pula merasakan dampak pencemaran tersebut. Hal ini ditunjukkan pada daur pencemaran lingkungan di bawah ini :



Gambar 2.1. Daur Pencemaran Lingkungan
 Sumber : Wardhana (1999)

Limbah - limbah yang sangat beracun pada umumnya merupakan limbah kimia, apakah itu berupa persenyawaan-persenyawaan kimia atau hanya dalam bentuk unsur atau ionisasi. Biasanya senyawa kimia yang sangat beracun bagi organisme hidup dan manusia adalah senyawa-senyawa kimia yang mempunyai bahan aktif dari logam-logam berat. Daya racun yang dimiliki oleh bahan aktif dari logam berat akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim dalam proses fisiologis atau metabolisme tubuh. Sehingga proses metabolisme terputus. Di samping itu bahan beracun dari senyawa kimia juga dapat terakumulasi atau menumpuk dalam tubuh, akibatnya timbul problema keracunan kronis (Palar, 1994).

Sedangkan, sumber pencemaran perairan pesisir dan lautan dapat dikelompokkan menjadi 7 kelas : industri, cair pemukiman (*sewage*), limbah cair perkotaan (*urban stormwater*), pertambangan, pelayaran (*shipping*), pertanian, dan perikanan budi daya. Bahan pencemar utama yang terkandung dalam bungan limbah dari ketujuh sumber tersebut berupa : sedimen, unsur hara (*nutrients*), logam beracun (*toxic metals*), pestisida, organisme eksotik, organisme patogen, sampah (*litter*) dan *oxygen depleting substances* (bahan-bahan yang menyebabkan oksigen yang terlarut dalam air berkurang). Bahan pencemar yang berasal dari berbagai kegiatan industri, pertanian, rumah tangga di daratan akhirnya dapat menimbulkan dampak negatif bukan saja pada perairan sungai, tetapi juga perairan pesisir dan kelautan (Dahuri, Rais, Ginting, Sitepu, 2001).

Salah satu hal yang perlu dikerjakan dalam pengendalian dan pemantauan dampak lingkungan adalah melakukan analisis unsur-unsur dalam cuplikan

lingkungan yang tercemar oleh limbah industri tersebut, terutama kandungan logam berat maupun senyawa kimia berbahaya lainnya. Analisis tersebut diperlukan untuk mengevaluasi tingkat pencemaran yang terjadi.

2.2. Sumber Pencemaran

Sumber pencemar adalah setiap kegiatan yang membuang atau mengeluarkan zat atau bahan pencemar, yang dapat berbentuk cair, gas atau partikel tersuspensi dalam kadar tertentu kedalam lingkungan.

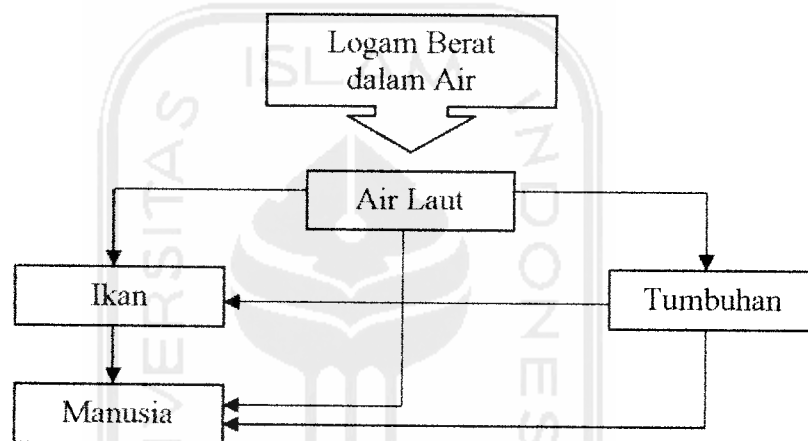
Pencemaran merupakan berubahnya suatu kondisi dari bentuk asal menjadi keadaan yang lebih buruk. Perubahan bentuk tatanan dari kondisi asal pada kondisi buruk ini terjadi sebagai akibat masuknya bahan pencemar dari sumber pencemar yang ada.

Pencemaran lingkungan dapat melalui udara, air dan tanah pada akhirnya sampai juga pada manusia. Oleh karena itu perubahan dan kebijaksanaan manusia dalam pengelolaan lingkungan sangat besar bagi kelangsungan hidup manusia itu sendiri.

Adanya sumber pencemar air oleh logam berat dari logam berat dari berbagai sumber akan menyebabkan terganggunya populasi biota di perairan tersebut. Masuknya zat pencemar logam berat ke dalam perairan selain mengendap di dasar perairan, juga akan diakumulasi oleh tumbuhan dan hewan air. Tingkat residu logam yang diakumulasi oleh organisme tersebut dapat untuk menggambarkan tingkat pencemaran air di perairan tersebut (Moore dan Ramarmorthy, 1984).

Pencemaran lingkungan dapat melalui udara, air dan tanah yang pada akhirnya sampai juga pada manusia. Oleh karena itu perubahan dan kebijaksanaan manusia dalam pengelolaan lingkungan sangat besar bagi kelangsungan hidup manusia itu sendiri.

Karena zat pembuangan limbah ke lingkungan pada akhirnya sampai pada manusia, maka perlu diketahui skema daur limbah ke lingkungan sebagai berikut :



Gambar 2.2. Bagan Air Limbah Logam Berat dalam Lingkungan
Sumber: Wardhana (1999)

2.3. Pencemaran Logam Berat

Pencemaran logam berat terhadap alam lingkungan merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut oleh manusia. Pada awal digunakannya logam sebagai alat, belum diketahui pengaruh pencemaran terhadap lingkungan dan pada tingkat tertentu dapat mengganggu kesehatan manusia. Masalah yang dihasilkan dari logam berat ini cukup rumit, karena logam berat mempunyai sifat - sifat berikut :

1. Beracun
2. Tidak dapat dirombak atau dihancurkan oleh organisme hidup.

3. Dapat diakumulasi dalam tubuh organisme termasuk manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Logam berat berdasarkan sifat racunnya dapat dikelompokkan menjadi empat golongan, yaitu :

1. Sangat beracun, dapat mengakibatkan kematian ataupun gangguan kesehatan yang pulih dalam waktu singkat. Logam - logam tersebut antara lain : Pb, Hg, **Cd**, Cr, **As**, Sb, Ti dan U.
2. Moderat, yaitu mengakibatkan gangguan kesehatan baik yang dapat pulih maupun yang tidak dapat pulih dalam waktu yang relatif lama. Logam - logam tersebut antara lain : Ba, Be, Cu, Au, Li, Mn, Se, Te, Va, **Co** dan Rb.
3. Kurang beracun, logam ini dalam jumlah besar menimbulkan gangguan kesehatan. Logam - logam tersebut antara lain : Bi, Co, Fe, Ca, Mg, Ni, K, Ag, Ti dan **Zn**.
4. Tidak beracun, yaitu tidak menimbulkan gangguan kesehatan seperti : Na, Al, Sr dan Ca.

2.3.1. Arsen (As)

Arsen hampir selalu ditemukan secara alamiah di daerah pertambangan walaupun jumlahnya sangat sedikit. Logam ini biasanya selalu berbentuk senyawa kimia baik dengan logam lain, oksida maupun sulfur yang menjadikan sifat logam ini menjadi lebih mudah mengendap. Konsentrasi logam arsen pada air laut secara alamiah 2,6 µg/l, sedangkan pada air sungai 2 µg/l (Darmono, 2001).

Arsen digunakan dalam industri metalurgi, gelas, pigmen, tekstil, kertas, keramik, cat, penyulingan minyak, semi-konduktor dan sebagainya (Effendi, 2003). Kadar Arsen dalam perairan tawar sekitar 0,01 mg/l. Untuk menjaga ekosistem akuatik, kadar arsen sebaiknya tidak lebih dari 0,05 mg/l (Moore, 1991). Kadar arsen yang tinggi juga dapat merusak klorofil. Pada perairan yang diperuntukkan bagi kepentingan pertanian, kadar arsen sebaiknya kurang dari 0,1 mg/l. Konsentrasi arsen yang mematikan bagi mikro algae berkisar antara 2,0 - 10,0 mg/l. Kadar arsen yang melebihi 10 mg/l bersifat toksik pada ikan, kadar arsen aman pada perairan laut adalah sekitar 0,01 mg/l (Effendi, 2003).

Arsen merupakan bahan beracun, dapat melalui isapan nafas dalam bentuk debu yang berterbangan di udara (pencemaran udara) dan keracunan arsen pada orang atau hewan karena menghisap debu tersebut., perut (melalui makanan) atau absorpsi melalui kulit. Keracunan As dapat secara cepat atau pelan dengan gejala yang timbul, seperti : bercak-bercak pada kulit seperti eksem, dan apabila keracunan berat akan menimbulkan muntah darah lambung. Gas AsH_3 akan memecahkan butiran darah dan senyawa Arsen banyak dijumpai pada buangan industri logam, glassware, keramik, zat pewarna dan pestisida.

Apabila termakan arsen sebanyak 100 mg dapat mengakibatkan keracunan yang hebat. Arsen juga diduga dapat mengakibatkan kanker.

2.3.2. Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan bahan beracun yang akan menimbulkan gejala akut dan mengakibatkan kematian. Keracunan akan mengakibatkan gangguan pada organ dalam hati, ginjal, tulang-tulang apabila termakan/terminum dari bahan

yang tercemar Cd dengan gejala : mual, muntah, diare, kejang perut, dan pusing, yang mana Cd akan menghambat kerja dari selfhydril enzim, dan diduga sebagai karsinogen.

Keracunan Kadmium (Cd) dapat terjadi karena banyak industri yang menggunakan logam kadmium dalam proses produksinya, seperti industri metalurgi, pelaisan logam, pigmen, baterai, peralatan elektronik, pelumas, peralatan fotografi, gelas, keramik, tekstil dan plastik (Effendi, 2003).

Logam kadmium menjadi populer setelah timbulnya pencemaran air sungai di wilayah Toyama di Jepang yang menyebabkan keracunan pada manusia (Wardhana, 1999). Kadmium dalam air tawar berbentuk karbonat ($CdCO_3$), sedangkan dalam air laut berbentuk senyawa klorida ($CdCl_2$). Sifat dan kegunaan logam ini adalah :

- Mempunyai sifat tahan panas sehingga sangat bagus untuk pencampuran pembuatan bahan-bahan keramik dan plastik; dan
- Sangat tahan terhadap korosi sehingga bagus untuk melapisi pelat besi dan baja.

Kadmium bersifat kumulatif dan sangat toksik bagi manusia dapat mengakibatkan gangguan fungsi ginjal dan paru-paru, meningkatkan tekanan darah dan mengakibatkan kemandulan pada pria dewasa (Effendi, 1999).

Kadmium dapat berbahaya apabila diserap oleh hewan air melalui insang dan saluran pencernaan. Karena sifatnya sangat toksik, logam ini dapat mematikan. Keracunan kronis Cd lebih sering dijumpai di lapangan hanya pada manusia, ini erat hubungannya dengan kualitas lingkungan yang menurun.

Pada air payau biasanya terdapat muara sungai. Kedua senyawa tersebut jumlahnya berimbang. Logam berbahaya ini diserap oleh hewan air melalui insang dan saluran pencernaan. Karena sifatnya yang toksik, logam ini dapat mematikan. Jika hewan air tersebut tahan terhadap kandungan logam yang tinggi, maka logam itu dapat tertimbun di dalam jaringannya, terutama hati dan ginjal. Logam ini juga berkaitan dengan protein sehingga disebut *metalotionein* yang bersifat agak permanen dan mempunyai waktu paruh cukup lama (*biological half life*).

2.3.3. Seng (Zn)

Seng digunakan dalam produksi logam campuran, misalnya : perunggu, loyang, dan kuningan. Senyawa seng ini juga sering digunakan dalam pelapisan logam seperti : baja, besi yang merupakan produk anti karat. Juga digunakan zat warna untuk cat, lampu, gelas, bahan keramik, pestisida dan sebagainya, Zn juga banyak dijumpai pada limbah industri CO₂.

Kadar seng pada air minum sebaiknya tidak lebih dari 5 mg/l. toksisitas seng menurun dengan meningkatnya kesadahan dan meningkatnya suhu dan menurunnya oksigen terlarut. Toksisitas seng bagi organisme akuatik (algae, avertebrata dan ikan) sangat bervariasi, < 1 mg/l hingga > 100 mg/l (Effendi, 2003). Keracunan Zn sering dijumpai pada hewan yang hidup di daerah yang tercemar unsur ini, dan keracunan Zn ini juga terjadi bersamaan dengan keracunan Cd secara kronis. Defisiensi seng akan terlihat pada hewan dengan gejala peradangan pada hidung dan mulut serta pembengkakan persendian.

2.3.4. Kobalt (Co)

Logam seperti kobalt sangat penting peranannya dalam sistem biologi makhluk hidup. Kobalt dalam tubuh makhluk hidup biasanya berikatan sebagai vitamin kobalomin (B_{12}). Unsur ini diperlukan oleh mikroorganisme dalam rumen untuk mensintesis vitamin B_{12} . Jika dalam pakan hewan yang kurang Co, maka vitamin B_{12} tidak dapat diproduksi oleh mikroba rumen dan hewan akan menunjukkan gejala defisiensi. Keracunan kobalt dapat terjadi apabila makanan dan minuman mengandung Co 150 ppm atau lebih (Darmono, 1995).

Kobalt yang masuk ke dalam tubuh dalam jumlah yang banyak akan merusak kelenjar gondok sehingga penderita akan kekurangan hormon kelenjar gondok. Keracunan kobalt juga dapat menyebabkan sel darah merah menjadi berubah, tekanan darah menjadi tinggi, pergelangan kaki membengkak. Gagal jantung juga dapat terjadi akibat keracunan Co, terutama pada anak-anak yang sedang mengalami masa pertumbuhan (Darmono, 1995).

Co^{3+} merupakan ikatan ion yang lambat mencapai keseimbangan karena ionnya terlibat dalam ikatan yang kompleks dan ionnya jarang berikatan protein makanan. Beberapa enzim penting yang disekresi oleh sel-sel insang ialah enzim *Carbonic anhydrase* yaitu enzim yang mengandung seng (Zn) yang berperan dalam katalis CO_2 menjadi asam karbonat (HCO_3). Logam seng yang terikat enzim ini dapat diganti oleh logam Co sehingga aktivitasnya berkurang sampai 56%.

Pada saat sekarang ini kobalt telah banyak digunakan dalam pembuatan peralatan yang digunakan dalam kehidupan manusia, sebagai contoh penggunaan

kobalt sebagai alloy dengan logam lain. Adapun sifat-sifat dari logam kobalt adalah sebagai berikut :

1. Logam Co dalam persenyawaannya mempunyai bilangan oksidasi +2 dan +3.
2. Ion kobalt (III) tidak stabil.
3. Kobalt dapat membentuk kompleks-komplek yang stabil.
4. Komplek kobalt (II) dapat dioksidasikan dengan mudah menjadi kompleks-komplek kobalt (III).
5. Kobalt bersifat racun terhadap makhluk hidup.

2.4. Indikator Biologis

Indikator biologis sebagai dasar dan perhatian utama untuk melihat dampak pencemaran logam berat dan beracun dan adanya proses bioakumulasi, selain itu juga untuk melihat efek potensialnya terhadap jaringan atau rantai makanan. Salah satu organisme yang dapat dijadikan bioindikator untuk sungai adalah eceng gondok dan ikan, sedangkan untuk perairan laut adalah kerang dan ikan.

Karakteristik ideal sebagai indikator biologis ekosistem perairan adalah sebagai berikut :

- Organisme (biota) tersebut harus cukup mengakumulasi logam berat tanpa menyebabkan kematian.
- Habitat biota berasal dari daerah yang diteliti.
- Melimpahnya setiap waktu pada lokasi yang akan diteliti.

- Mempunyai masa hidup lebih dari satu tahun, (cukup lama) untuk melihat pengaruh variasi perubahan musim
- Mempunyai ukuran tubuh yang memungkinkan untuk dianalisa, terutama pada jaringan tubuh (Rossbach, 1995).

Logam berat yang diabsorpsi, akan diakumulasi oleh makhluk hidup perairan sampai berbagai tingkatan. Akumulasi logam berat oleh makhluk hidup dapat berasal dari proses biokonsentrasi, pengambilan dari partikulat tersuspensi, dari bahan makanan dan dari sedimen (Connell, 1995). Bioakumulasi logam berat yang dilakukan oleh biota air akan menyebabkan kadarnya dalam tubuh lebih besar dibandingkan dengan air maupun sedimen (Hutagalung, 1984).

Apabila pencemaran lingkungan diperkirakan melalui jalur air maka indikator biologisnya dapat ditentukan melalui hewan atau tanaman yang hidup atau tumbuh di air, baik air sungai, air danau maupun air laut. Indikator biologis yang ada pada jalur air dan mungkin akan sampai kepada manusia (Wardhana, 1999).

Dalam menganalisa keadaan lingkungan masalah indikator biologis merupakan petunjuk ada tidaknya kenaikan keadaan lingkungan dari keadaan garis dasar (keadaan lingkungan sebelum ada kegiatan industri), sebaiknya pengambilan contoh lingkungan haruslah yang terletak pada jalur yang menuju dan berakhir pada manusia (Wardhana, 1995).

Logam berat yang terabsorpsi oleh biota perairan akan membentuk senyawa kompleks dengan zat-zat organik yang terdapat dalam tubuh organisme sehingga logam berat akan terikat, terakumulasi dan tidak segera dilepaskan oleh

organisme yang bersangkutan (Robinson dan Roesijadi, 1994). Sedangkan menurut Hutagalung (1984), bahan pencemar yang berada dalam tubuh organisme dapat dikeluarkan ke lingkungan air atau dapat disimpan dan terakumulasi dalam tubuh organisme yang terlibat pada rantai makanan. Logam berat yang terakumulasi akan bereaksi dengan gugus sulfhidril (-SH) dari protein yang terdapat dalam tubuh organisme, sehingga sukar terekskresi oleh organisme tersebut.

Bioakumulasi logam berat yang dilakukan oleh biota air akan menyebabkan kadarnya dalam tubuh lebih besar dibandingkan dengan air maupun sedimen (Hutagalung, 1984). Demikian juga halnya dengan logam berat yang terabsorpsi oleh biota laut, meskipun prosesnya lambat namun apabila berlangsung terus-menerus dalam jangka waktu yang lama, maka proses akumulasi yang terjadi akan menghasilkan kandungan logam berat yang cukup tinggi dalam tubuh organisme. Proses akumulasi logam berat akan jauh lebih cepat melalui rantai makanan yang telah tercemar daripada di dalam air.

Absorpsi logam berat dari air ke dalam makhluk hidup dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kadar garam, temperatur, pH, ukuran organisme, hadirnya senyawa kimia lain dan kondisi kelaparan dari organisme. Absorpsi logam juga sangat bergantung pada bentuk logam, biasanya ikatan logam dalam makanan sangat stabil dan tidak dipecah oleh enzim pencernaan (Darmano, 1995).

2.4.1. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms)

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms) merupakan tumbuhan pengganggu (gulma) perairan yang sulit diberantas, karena pertumbuhannya

sangat pesat termasuk jenis tumbuhan menahun, mengapung bebas apabila air cukup dalam, tetapi berakar di dasar bila airnya dangkal (Widiyanto, 1980).

Tumbuhan ini juga mampu menyesuaikan diri terhadap lingkungan tempat tumbuhnya, serta dapat memanfaatkan kesuburan air yang tinggi. Pertumbuhan yang pesat berarti mempunyai daya serap yang besar untuk menyerap berbagai unsur dalam air (Hadi, 1984).

2.4.2. Tanaman Bakau (*Rhizophora.sp.*)

Yang paling menarik dari ekosistem ini adalah cara adaptasi organ-organ tubuhnya terhadap kondisi lingkungan yang bersalinitas tinggi, dan selalu tergenang air. Untuk *Rhizophora* selain akar yang menggantung penyaring NaCl ia memiliki daun berlapis daging yang tebal untuk menyimpan banyak air. Selain itu juga akar-akar mereka mampu menahan sedimen sehingga terjadi penambahan lahan kearah laut.

Hutan mangrove (bakau) merupakan ekosistem utama pendukung kehidupan yang penting di wilayah pesisir dan kelautan. Selain mempunyai fungsi ekologis sebagai penyedia nutrisi bagi biota perairan, penahan abrasi, amukan angin taufan, penyerap limbah, pencegah intrusi air laut, dan lain sebagainya. Hutan mangrove juga mempunyai fungsi ekonomis penting seperti : penyedia kayu, daun-daunan sebagai bahan baku obat-obatan (Dahuri, Rais, Ginting, Sitepu, 2001).

Hutan bakau sebagai salah satu ekosistem yang sangat unik, merupakan salah satu sumberdaya alam yang sangat potensial, hutan bakau disamping merupakan penghasil berbagai bahan baku industri (bahan penyamak, arang, kayu

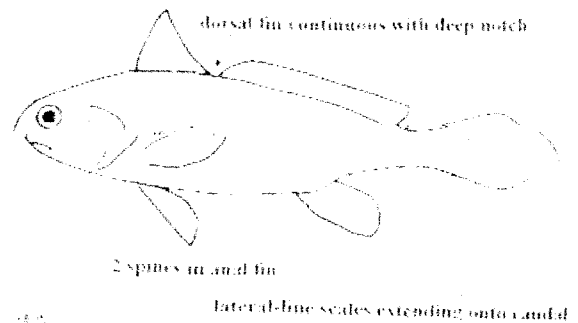
bakar, dll), juga mempunyai fungsi lindung berbagai proses ekologi dan merupakan salah satu ekosistem yang mempunyai daya recovery/regenerasi yang cukup kuat, dari 15,9 juta Ha hutan mangrove dunia seluas 4,25 juta Ha hutan mangrove atau $\pm 27\%$ terdapat di Indonesia dan seluas $\pm 28,437$ Ha berada di propinsi Jawa Timur, oleh karena itu mangrove/bakau perlu memperoleh perhatian khusus, hati-hati agar tidak menurunkan atau merusak ekosistemnya (Anonim, 1997).

2.4.3. Ikan Belanak (*Moolgarda delicatus*)

Karakter diagnostik: Badan memanjang; mulut kecil dan terminal; moncong runcing; ujung belakang tulang rahang tidak terlihat apabila mulut tertutup; selaput kelopak mata tidak menutupi iris mata; sisik lingkaran dengan pinggiran bermembran bergerigi; *pyloric coeca* tidak bercabang; sirip ekor cagak. Jari-jari sirip punggung VI-I, 8; jari-jari sirip dubur III,9; jari-jari sirip dada 15-17; deretan sisik longitudinal 34-36. Terdapat di daerah pantai dan estuaria.

Warna: Bagian belakang berwarna kehijau-hijauan atau abu-abu kecoklatan, pada bagian sisi dan perut berwarna keperakan; pinggiran belakang sirip ekor berwarna hitam; pada permulaan sirip dada terdapat spot biru.

2.4.4. Ikan Gelama (*Johnius (Johnieops) Borneen*)



Gambar 2.3. Struktur ikan Gelama (*Johnius (Johnieops) Borneen*)

Bentuk badan memanjang, agak *compress*; seluruh bagian kepala dan badan tertutup sisik kecuali ujung moncong. Lubang sensor berpori sering kali terdapat pada ujung moncong (pori-pori rostral bagian atas), pada bagian pinggiran bawah moncong (pori-pori rostral marginal), dan pada dagu (pori-pori mental); biasanya pori-pori rostral bagian atas 3-5, pori-pori rostral marginal 5, dan pori-pori mental 3 pasang. Sirip punggung tidak terputus, dengan lekukan yang dalam antara bagian sirip yang berjari-jari keras dan bagian sirip yang berjari-jari lemah; sirip bagian depan VIII-X (biasanya X) dengan jari-jari keras yang pipih, dan bagian belakang dengan I jari-jari keras dan 21-44 jari-jari lemah; dasar sirip punggung yang berjari-jari lemah lebih panjang daripada dasar sirip dubur; sirip dubur dengan II jari-jari keras dan 6-12 (biasanya 7) jari-jari lemah; sirip ekor berpinggiran berlekuk sampai meruncing, tidak pernah berbentuk cagak, biasanya meruncing pada ikan-ikan muda, dan berbentuk rhomboid pada ikan dewasa.

2.5. Analisis Aktivasi Neutron (AAN)

Analisis Aktivasi Neutron (AAN) merupakan teknik analisis unsur-unsur kelumit, yaitu unsur-unsur dalam kadar yang sangat rendah. Analisis ini didasarkan pada pembentukan radionuklida sebagai hasil dari reaksi nuklida dalam bahan yang dianalisis. Cuplikan akan di radiasi menggunakan suatu sumber neutron, inti atom unsur-unsur yang berada dalam cuplikan akan menangkap neutron dan berubah menjadi radioaktif.

Metode aktivasi neutron ini mampu menganalisis unsur-unsur kelumit dalam satu sampel secara bersamaan tanpa pemisahan kimia, jika dibandingkan dengan metode lain. AAN mempunyai kepekaan yang tinggi yaitu mampu mendeteksi kadar unsur sampai orde ppm (10^{-6}) bahkan untuk unsur tertentu sampai orde ppb (10^{-9}) dan ppt (10^{-12}). Keunggulan dari Metode Analisis Aktivasi Neutron ini adalah :

1. Mendeteksi secara serentak (*multi element*)
2. Limit deteksi tinggi
3. Tanpa merusak cuplikan
4. Bisa untuk cuplikan padat, cair dan gas
5. Tidak mudah terkontaminasi, jika cuplikan telah di radiasi
6. Mampu menganalisis semua unsur kelumit (*trace element*) dalam suatu cuplikan

Kelemahan dari Metode Analisis Aktivasi Neutron adalah :

1. Yang dianalisis kadar unsur total, tidak bisa membedakan valensi unsur

2. Beberapa unsur tidak terdeteksi (Si, Pb, C, N, O dsb) (Catatan kuliah Laboratorium Lingkungan).

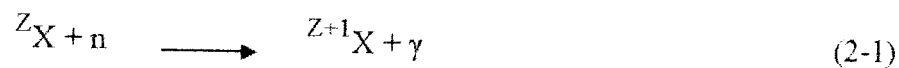
Tabel 2.1. Keandalan Metode Aktivasi Neutron

Kepekaan/limit deteksi (repsipity)	: $\pm 4 \cdot 10^{-5} \mu\text{g}$
Ketelitian (accuracy)	: 5 %
Keseksamaan (precition)	: ± 1 %

Sumber : Susetyo, 1988.

2.5.1. Prinsip Dasar

Bahan sampel yang akan dianalisa, diiradiasi dengan sumber neutron dalam suatu sumber neutron, maka akan terjadi penangkapan neutron oleh inti unsur - unsur tersebut. Unsur yang teraktivasi neutron akan berubah menjadi radioaktif yang memancarkan sinar *gamma* dengan energi *gamma* spesifik. Selanjutnya pancaran tenaga dari unsur radioaktif dalam sampel tersebut dideteksi untuk melihat komposisi kandungan unsur yang ada (secara kualitatif) serta ditentukan kadarnya (secara kuantitatif) dengan teknik spektrometri γ . Secara sederhana reaksi tersebut dinyatakan dengan persamaan umum sebagai berikut :

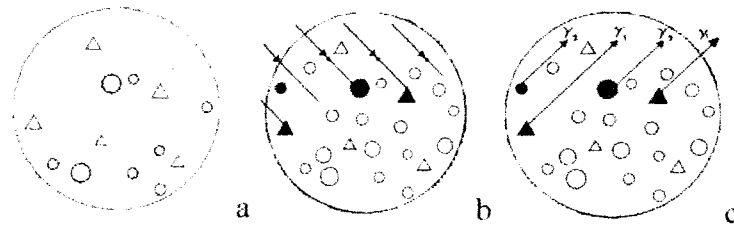


${}^Z\text{X}$: adalah unsur sasaran dalam cuplikan

n : adalah neutron yang digunakan untuk iradiasi

γ : adalah sinar gamma yang dipancarkan oleh unsure hasil pengaktifan setelah iradiasi, sinar gamma ini mempunyai energi yang spesifik untuk setiap unsur

${}^{Z+1}\text{X}$: adalah unsur hasil reaksi inti dalam cuplikan (Anonim, 2001).



Gambar 2.4. Prinsip Dasar Analisis Aktivasi Neutron
 Sumber : Susetyo (1988)

Keterangan :

- Cuplikan terdiri atas bahan dasar (○) dan unsur-unsur kelumit (△).
- Cuplikan di iradasi dengan neutron dan membuat beberapa atom menjadi radioaktif (●) dan (▲).
- Sinar γ yang dipancarkan oleh cuplikan menyingkapkan data kualitatif dan data kuantitatif unsur-unsur dalam cuplikan.

2.5.2. Reaksi Pengaktifan

Radioaktivitas merupakan gejala perubahan inti atom secara spontan disertai dengan pancaran radiasi partikel dan atau gelombang elektromagnetik. Perubahan inti atom tersebut menghasilkan suatu unsur baru yang disebut sebagai desintegrasi inti atau dikenal dengan peluruhan radioaktif.

Proses peluruhan radioaktif dapat dijelaskan sebagai berikut :



Dimana unsur radioaktif A mengalami peluruhan menjadi nuklida B dengan melepaskan radiasi b. Contoh reaksi neutron dan energi yang dihasilkan adalah :





Pancaran energi gamma, $E\gamma$ tersebut yang akan dianalisa dalam detektor HPGe dengan kemurnian yang tinggi secara kualitatif (identifikasi kenampakan unsur yang terdapat dalam sampel) dan secara kuantitatif (mengukur kadarnya dengan mengukur luas spektrum atau intensitas γ) (Susetyo, 1988).

2.5.3. Fasilitas Iradiasi

2.5.3.1. Fasilitas Iradiasi Reaktor Atom Kartini

Bahan bakar yang digunakan reaktor atom Kartini adalah U Zr H 20%. Terdapat dua isotop utama dalam uranium, yaitu ${}^{235}\text{U}$ dan ${}^{238}\text{U}$. Inti ${}^{235}\text{U}$ apabila menyerap neutron akan mengalami pembelahan menjadi dua inti baru sambil melepas 2 atau 3 neutron. Reaksi pembelahan inti menjadi dua buah inti atau lebih dan lebih ringan dan disertai pemancaran energi dinamakan reaksi fisi.

Neutron yang dihasilkan langsung dari pembelahan uranium mempunyai tenaga yang sangat tinggi. Neutron jenis ini disebut sebagai neutron cepat. Neutron cepat tidak dapat dipakai secara efektif untuk membelah uranium, oleh sebab itu dilakukan penurunan tenaga neutron, yaitu dengan memperlambat gerak neutron dengan menumbukkan pada atom-atom ringan sehingga energinya sebagian akan diberikan pada atom tersebut. Bahan untuk memperlambat neutron disebut moderator. Bahan yang digunakan adalah air ringan. Neutron thermal mempunyai tenaga dibawah 0,2 KeV.

2.5.3.2. Pemilihan Sumber Neutron

Energi sinar gamma ($E\gamma_1$, $E\gamma_2$, dst) sangat spesifik untuk setiap unsur, sehingga dapat untuk mengidentifikasi atau analisis kuantitatif suatu cuplikan.

Dalam Analisis Aktivasi Neutron (AAN) neutron tersebut dapat mengaktivasi unsur - unsur dalam sampel yang cukup banyak setelah tenaganya diturunkan lebih dahulu menjadi *neutron thermal*, dengan menumbukkan pada bahan dengan berat atom ringan seperti air (H_2O), air berat (D_2O), grafit atau oxygen serta yang lainnya (Susetyo, 1998).

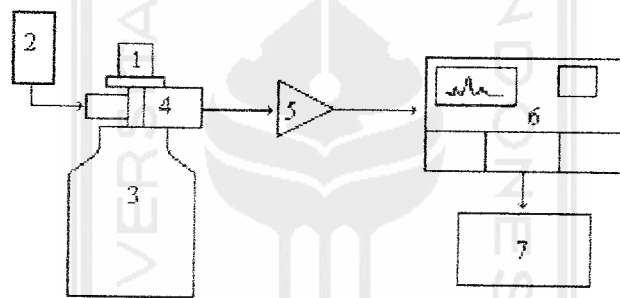
2.5.4. Perangkat Spektrometer Gamma

Perangkat Spektrometer gamma yang digunakan dilengkapi dengan unit pengolah data yang merupakan *mikro computer*, sumber tegangan tinggi (HV) penguat awal (*Preampiflier*), penguat (*Ampiflier*) dan penganalisis salur ganda (MCA). Detektor HPGe dilengkapi dengan system *cryostat* (tabung yang berisi N_2 cair). Untuk keterangan lebih jelas ditunjukkan pada Gambar 2.6.

Penguat awal (*Preampiflier*) terletak diantara detektor dan penguat. Alat ini mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut :

- Untuk melakukan amplifikasi awal terhadap pulsa keluaran detektor.
- Untuk melakukan pembentukan pulsa pendahuluan.
- Untuk mencocokkan impedansi keluaran detektor dengan kabel signal masuk ke penguat.
- Untuk mengadakan perubahan muatan menjadi tegangan pada pulsa keluaran detektor.

Sedangkan penguat (*Ampiflier*), berfungsi mempertinggi pulsa keluaran dari *preamplifier* sehingga mencapai amplitudo yang dapat dianalisis dengan alat penganalisis tinggi pulsa. Pulsa yang dihasilkan berupa penganalisis salur ganda. Pulsa-pulsa dengan bermacam-macam tinggi dapat dibedakan dan dipisahkan sehingga membentuk spektrum- γ yang lebih halus. Pulsa keluaran dari pengalisis salur ganda diteruskan pada alat cacah (gabungan *counter* dan timer) dengan menghitung semua pulsa keluaran dalam selang waktu yang telah ditetapkan sebelumnya (Susetyo, W.,1988).



Gambar 2.5. Perangkat Spektrometer γ
Sumber : Susetyo (1988)

Perangkat yang digunakan dalam spektrometer γ adalah sebagai berikut:

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1. Detektor HPGe | 5. Penguat (<i>ampiflier</i>) |
| 2. Sumber tegangan tinggi (HV) | 6. Penganalisis salur ganda (MCA) |
| 3. "Cryostat" Nitrogen cair | 7. Unit pengolahan data |
| 4. Penguat awal (<i>preampiflier</i>) | |

Prinsip kerja dari spektrometer gamma yaitu pulsa yang dihasilkan oleh detektor HPGe dipertinggi serta dibentuk dalam penguat awal dan amplifier. Pulsa tersebut dikirim ke alat penganalisis salur ganda yang telah dilengkapi dengan banyak memori dan dinyatakan cacah salur. Dalam penganalisis salur ganda maka

pulsa-pulsa tersebut dipilah-pilah sesuai dengan tinggi pulsa yang dimilikinya. Pulsa dengan tinggi tertentu akan dicatat cacahnya dengan nomor salur tertentu dan alat semacam ini pada hakekatnya adalah sebuah komputer dan dinamakan penganalisa salur ganda. Pulsa dengan tinggi tertentu akan dicatat cacahnya dalam salur dengan nomor tertentu.

2.5.4.1. Detektor HPGe

Apabila sinar γ mengenai detektor semi - konduktor maka dalam interaksi yang akan terjadi akan dihasilkan pasangan elektron-lowongan pada daerah intristik dalam detektor, oleh karena adanya pengaruh medan listrik yang terjadi menyebabkan elektron yang bergerak pada ujung-ujung elektroda mengakibatkan beda potensial yang akan menimbulkan sinyal. Tinggi sinyal tersebut sebanding dengan jumlah tenaga foton *gamma* dari suatu unsur yang teraktivasi neutron.

Karena kesenjangan tenaga dalam kristal germanium sangat kecil maka untuk mengatasi arus bocor balik yang disebabkan oleh efek eksternal, detektor HPGe (*High Pure Germanium*) harus dioperasikan dalam suhu operasi yang sangat rendah, yaitu dengan menggunakan nitrogen cair 77 K (-196°C) sebagai medium pendingin. Apabila tidak dilakukan pendinginan maka arus bocor akan merusakkan daya pisah detektor. Oleh sebab itu detektor biasanya dimasukkan dalam wadah hampa yang dimasukkan dalam dewar nitrogen cair. System seperti ini sering disebut juga sebagai "*cryostat*" (tabung berisi N₂ cair).

Detektor HPGe banyak digunakan dalam spektrometer gamma karena mempunyai kemurnian yang tinggi, dan harus berada dalam kondisi terjaga kestabilannya.

2.6. Deskripsi Lokasi Penelitian

2.6.1. Letak Geografis

Surabaya merupakan ibu kota propinsi Jawa Timur yang dikenal sebagai Kota Pahlawan dengan luas wilayah 326.36 Km² yang terletak antara 07° 21' Lintang Selatan dan 112° 36' - 112° 54' Bujur Timur.

Kota Surabaya berdiri diatas ketinggian 3 - 6 meter diatas permukaan laut (dataran rendah), kecuali dibagian selatan terdapat dua bukit landai di daerah lidah & Gayungan dengan ketinggian 25 - 50 meter di atas permukaan laut. Sedangkan untuk batas wilayah kota Surabaya terdiri dari :

Sebelah Utara	: Selat Madura
Sebelah Timur	: Selat Madura
Sebelah Selatan	: Kabupaten Sidoarjo
Sebelah Barat	: Kabupaten Gresik

2.6.2. Letak Topografi

Surabaya terdiri dari 80 % dataran rendah dengan ketinggian 3 - 6 m dan memiliki kemiringan < 3 %, sedangkan 20 % perbukitan dengan gelombang yang rendah dengan ketinggian < 30 m yang memiliki kemiringan 5 - 15 %.

2.6.3. Iklim dan Curah Hujan

Musim kemarau terjadi pada bulan Mei - Oktober sedangkan musim hujan pada bulan November - April. Temperatur udara rata-rata minimum adalah 22,1 °C dan maksimum adalah 33,5 °C. Sedangkan curah hujan rata-rata adalah 181 mm dan curah hujan di atas 200 mm yang terjadi pada bulan November - April. Kecepatan angin yang terjadi di kota Surabaya rata-rata 6,0 Knot dan kecepatan

angin maksimum adalah 22 Knot. Arah angin terbanyak menurut pembagian bulannya adalah :

Januari, Februari, Maret : Barat-Barat Laut

April, Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, November : Timur

Desember : Timur - Tenggara

(Sumber : Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2002).

