

BAB IV

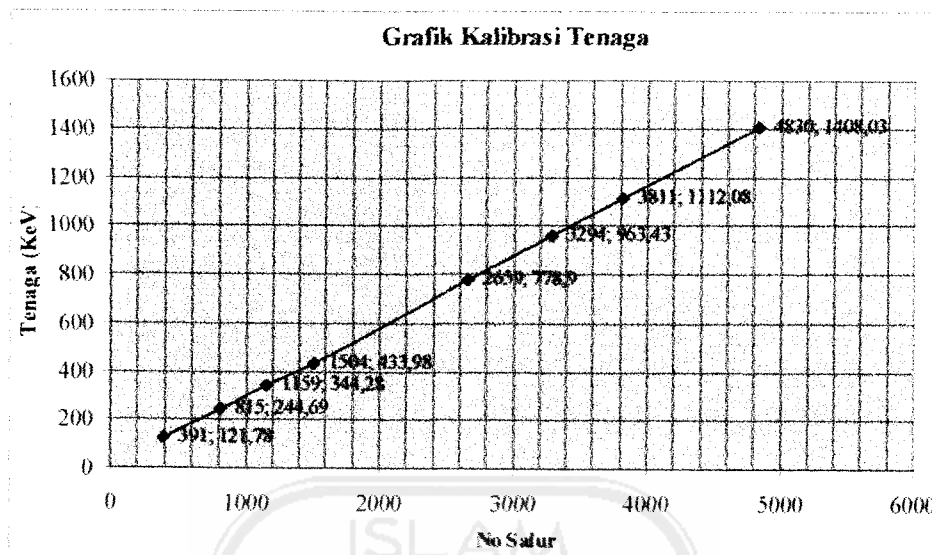
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kalibrasi Alat (Spektrometer Gamma "detektor HPGe")

Spektrometer gamma sebelum digunakan untuk menentukan aktivitas unsur-unsur logam berat suatu cuplikan perlu dilakukan kalibrasi tenaga dan kalibrasi efisiensi lebih dahulu. Kalibrasi spektrometer gamma menggunakan sumber standar multigamma (^{152}Eu) yang telah diketahui tingkat tenaganya dengan tepat. Sumber standar tersebut dicacah selama 300 detik.

4.1.1. Kalibrasi Tenaga

Sebelum pencacahan dilakukan, semua fungsi peralatan yang perlu diatur dan harus disetel pada kondisi kerja optimum (kondisi kalibrasi). Untuk suatu perangkat spektrometer gamma dan satu setting kondisi kerja perlu dicari hubungan antara nomor salur dan tenaga. Hal ini dilakukan dengan jalan mencacah sumber standard multigamma ^{152}Eu yaitu sumber yang sudah diketahui tenaganya dengan tepat dan mempunyai banyak puncak gamma yang tersebar secara merata dari tenaga rendah sampai tenaga tinggi. Apabila dibuat grafik tenaga sinar gamma-standard versus nomor salur puncak serapan total masing-masing maka akan didapatkan garis lurus *lihat Gambar 4.1*.



Gambar 4.1. Grafik kalibrasi tenaga Spektrometer gamma (detektor HPGe dan software Genie 2000) $Y = 0,2901X + 6,157$ dan $r = 0,9999$

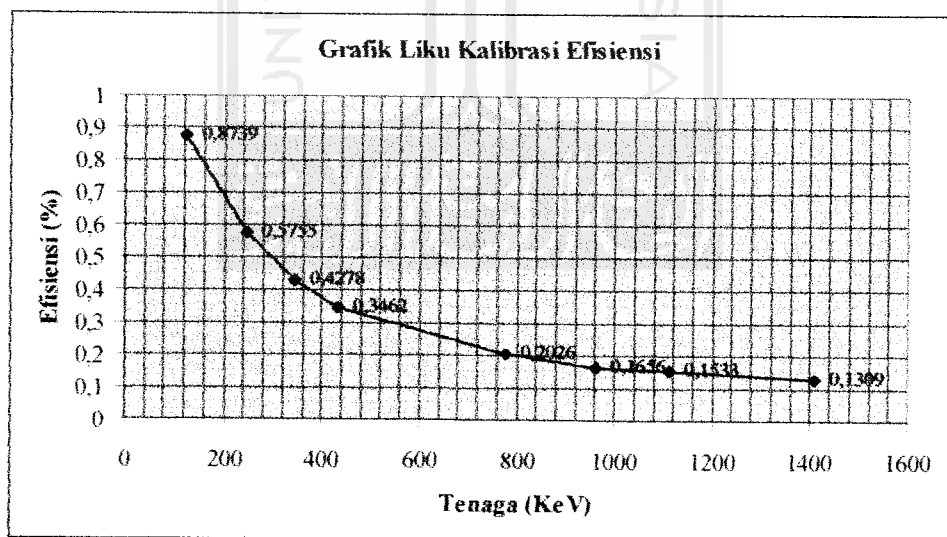
Dari hasil kalibrasi tenaga diketahui kelinieran hasil cacah standar multi gamma ^{152}Eu , didapatkan tenaga (Y_i) versus nomor salur (X_i) dalam persamaan regresi linear dengan bentuk $Y = aX + b$. Dari hasil perhitungan pada lampiran C1, diperoleh slope $a = 0,2901$ dan titik potong (intercept) $b = 6,157$, Sehingga persamaan menjadi : $Y = 0,2901X + 6,157$ dengan kelinearan (r) sebesar 0,9999, yang menyatakan bahwa alat dalam kondisi baik dan detektor siap digunakan untuk analisis.

Dari grafik pada Gambar 4.1. didapat hasil yang mantap dan mempunyai ketelitian tinggi maka dapat dilakukan pada kondisi alat yang tepat sama dengan kondisi kalibrasi dan tenaga dari unsur-unsur yang ingin dianalisis dapat tercapai sampai pada tenaga 1408,03 KeV, sehingga unsur-unsur yang ingin dianalisis dapat terbaca pada saat pencacahan. (unsur As = 559 KeV; Cd = 527,7 KeV; Zn = 1115,4 KeV; Co = 1173,1 KeV).

4.1.2. Kalibrasi Efisiensi

Data kalibrasi efisiensi menunjukkan efisiensi hasil dari pencacahan yang dilakukan oleh detektor HPGe dan penganalisa saluran ganda dalam Analisis Aktivasi Neutron. Sehingga hasil pencacahan dari unsur dalam cuplikan didapati kondisi yang stabil seperti saat pencacahan standar multigamma ^{152}Eu . Dari data (*Lampiran CI*) kemudian diplotkan menjadi grafik tenaga (E) versus efisiensi ($\% \epsilon(E)$) yang menghasilkan grafik liku kalibrasi efisiensi seperti terlihat pada gambar 4.2.

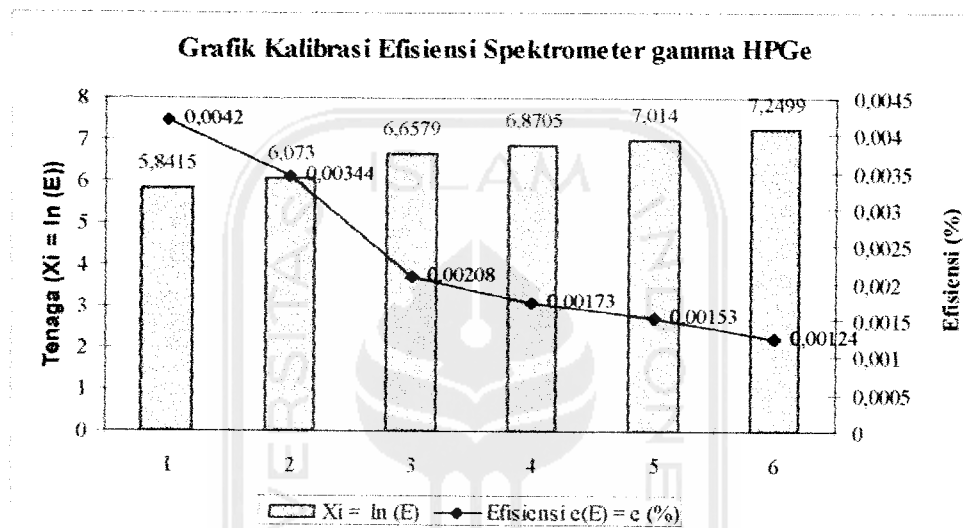
- Sumber standard ^{152}Eu
- Waktu paruh ($T_{1/2}$) $^{152}\text{Eu} = 13,1$ Tahun ; 4666,74 hari
- Aktivitas awal (A_0) : $1,975 \times 10^5$ dps (15 - 6 - 1979)
- Tanggal Kalibrasi : 19 - 10 - 2004
- Jarak sumber – detektor : 30 cm
- Waktu cacah (t_c) : 300 detik



Gambar 4.2. Grafik liku kalibrasi efisiensi Spektrometer gamma (detektor HPGe dan software Genie 2000)

Dari *Gambar 4.2.* untuk tenaga (E) > 300 Kev mendekati garis lurus yang menjelaskan bahwa kalibrasi dapat diolah dengan menggunakan teknik regresi

linier sehingga didapatkan persamaan $Y = aX + b$, untuk tenaga (E) < 300 KeV tidak dapat diolah dengan teknik regresi linier. Untuk tenaga (E) > 300 KeV yang diolah dengan teknik regresi linier menghasilkan nilai $X_i = \ln E$ (tenaga (E)) versus efisiensi ($\% \epsilon(E)$) yang diplotkan kedalam grafik dan menghasilkan grafik kalibrasi efisiensi seperti terlihat pada *Gambar 4.3* berikut ini :



Gambar 4.3. Grafik Kalibrasi efisiensi Spektrometer gamma (detektor HPGe dan software Genie 2000) $Y = -0,86090X - 0,4432$ dan $r = 0,9999$

Dari hasil pencacahan diperoleh harga efisiensi dengan persamaan regresi kalibrasi efisiensi : $Y = -0,86090X - 0,4432$; $r = 0,9999$ mendekati 1, yang berarti alat dalam kondisi baik dan detektor siap digunakan untuk analisis. Terlihat bahwa pada daerah tenaga rendah efisiensi akan naik dengan kenaikan sinar gamma yang dideteksi sedang pada daerah tenaga tinggi berlaku sebaliknya : efisiensi justru akan turun oleh kenaikan tenaga sinar gamma. Hal ini dikarenakan pada daerah tenaga tinggi, kemampuan sinar gamma untuk berinteraksi dengan detektor cukup lemah. Untuk tenaga yang sangat tinggi kemampuan sinar gamma di dalam menembus jendela detektor juga sangat kurang. Setelah itu tenaga sinar

gamma menjadi cukup besar sehingga boleh jadi foton gamma untuk meloloskan diri dari detektor tanpa berinteraksi menjadi cukup besar dan dengan sendirinya efisiensi deteksi akan turun.

Nilai efisiensi deteksi suatu pengukuran ditentukan oleh berbagai faktor, antara lain : jarak cuplikan - detektor, bentuk sumber radioaktif cuplikan, volume detektor, daya pisah peralatan elektronik, dsb. Semakin dekat jarak antara cuplikan dengan detektor semakin besar harga efisiensi deteksi. Akan tetapi semakin besar pula kesalahan pengukuran. Oleh sebab itu sebaiknya pengukuran dilakukan pada jarak yang cukup jauh dari detektor, pada penelitian ini jarak cuplikan dengan detektor 30 cm.

4.2. Analisis Kualitatif

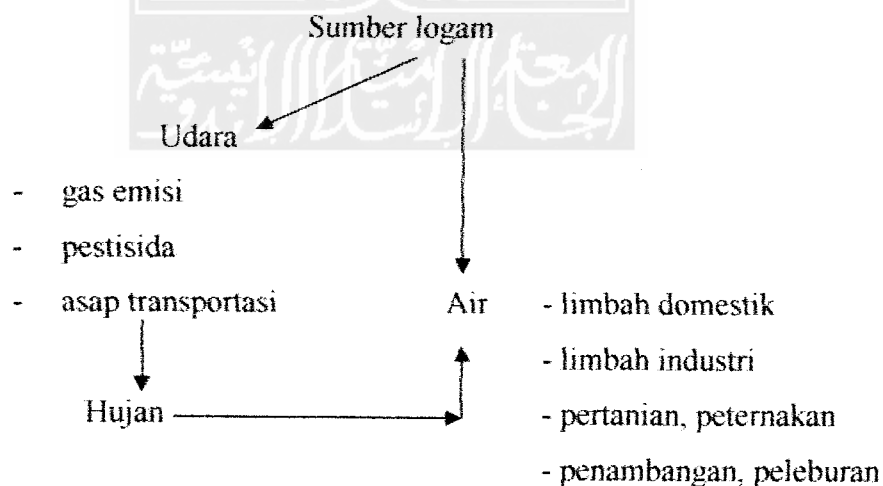
Analisis kualitatif pada air sungai, air laut, sedimen, eceng gondok (*Eichhornia crassipes (Mart) Solms*), tanaman bakau (*Rhizophora.sp.*), ikan Belanak (*Moolgarda delicatus*) dan ikan Gelama (*Johnius (Johnieops) Borneen*) di perairan Surabaya mengandung unsur-unsur sebagai berikut : Pada cuplikan air, sedimen dan biota (eceng gondok (*Eichhornia crassipes (Mart) Solms*), tanaman bakau (*Rhizophora.sp.*), ikan Belanak (*Moolgarda delicatus*) dan ikan Gelama (*Johnius (Johnieops) Borneen*)) unsur-unsur yang terdeteksi secara serentak, antara lain: Hg, As, Cr, Cd, Sc, Fe, Zn, Co, Ca dan Cu. Sedangkan unsur yang tidak dapat terdeteksi, antara lain: Ce, Au, Br dan Na, ini disebabkan karena umur paruh unsur tersebut pendek berkisar antara 15 jam sampai 2,7 hari. Dari hasil analisis menunjukkan banyaknya jenis unsur-unsur logam berat yang terkandung

dalam cuplikan dan menjelaskan bahwa lokasi tersebut perlu dijaga keseimbangan ekosistemnya, terutama peningkatan konsentrasi logam berat dan beracun. Untuk cuplikan biota pada lokasi 3 (Hulu Kali Mas) dan lokasi 11 (Muara Kali Anak) tidak terdapat cuplikan biotanya, sehingga tidak dapat dicari analisis kualitatifnya.

4.3. Analisis Kuantitatif

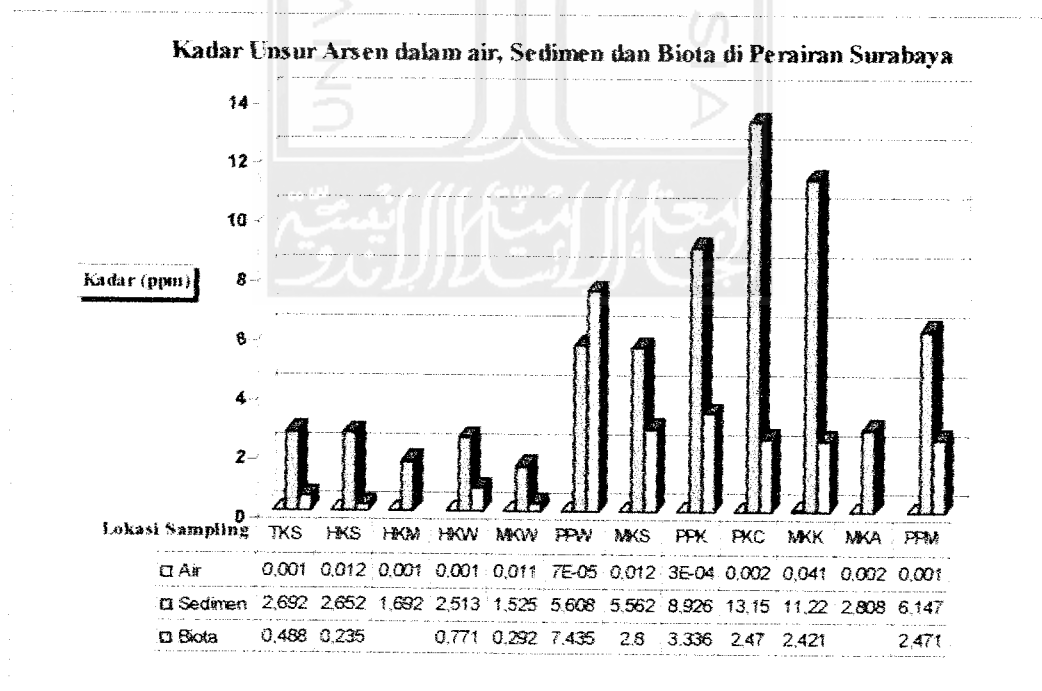
Analisis kuantitatif dilakukan untuk mengetahui konsentrasi logam berat yang akan diteliti dan dibatasi pada unsur-unsur logam berat As, Cd, Zn dan Co. Analisis kuantitatif dilakukan pada cuplikan air sungai, air laut, sedimen, eceng gondok (*Eichhornia crassipes (Mart) Solms*), tanaman bakau (*Rhizophora.sp.*), ikan Belanak (*Moolgarda delicatus*) dan ikan Gelama (*Johnius (Johnieops) Borneen*) dari beberapa unsur dilakukan secara relatif dengan menggunakan rumus secara lengkap yang disajikan pada Lampiran C4-1 s.d C4-12.

4.3.1. Konsentrasi Unsur Arsen (As)



Gambar 4.4. Daur pencemaran di perairan

Arsen dilepaskan ke lingkungan dari sumber alami seperti gunung berapi sedangkan yang dilepaskan dari sumber pencemar (aktivitas industri, emisi, *agricultur*) jauh melebihi sumber alami, sumber pencemaran arsen meliputi kegiatan penambangan dan peleburan, penggunaan pestisida, pembakaran batubara dan pembakaran kayu. Pelepasan arsen ke lingkungan akan menurunkan kualitas air serta udara. Arsen dapat mencemari sungai dan laut dengan dilepaskannya limbah yang mengandung arsen ke perairan ataupun melalui hujan yang membawa emisi (zat pencemar) dari udara. Pencemaran ini akan berdampak kritis di dalam ekosistem sungai dan laut dan melalui rantai makanan (*food chains*) akhirnya akan sampai juga ke manusia. Penelitian ini mencoba mengidentifikasi konsentrasi Arsen pada cuplikan air sungai, air laut, sedimen dan biota yang disajikan pada *Gambar 4.5.* berikut ini:



Gambar 4.5. Grafik konsentrasi Arsen dalam air, sedimen dan biota

Kode lokasi

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. TKS : Tengah Kali Surabaya | 7. MKS : Muara Kali Sari |
| 2. HKS : Hilir Kali Surabaya | 8. PPK : Pesisir Pantai Kenjeran |
| 3. HKM : Hulu Kali Mas | 9. PKC : Pesisir Kedung Cowek |
| 4. HKW : Hulu Kali Wonokromo | 10. MKK : Muara Kali Kedinding |
| 5. MKW : Muara Kali Wonokromo | 11. MKA : Muara Kali Anak |
| 6. PPW : Pesisir Pantai Wonokromo | 12. PPM : Pesisir Pantai Morokrembangan |

Pada cuplikan air dan sedimen seluruh lokasi *sampling* untuk logam berat Arsen (As) terdeteksi semua, sedangkan cuplikan biota pada lokasi 3 (Hulu Kali Wonokromo) dan lokasi 11 (Muara Kali Mas) tidak terdapat biota sehingga tidak dapat dibandingkan.

4.3.1.1. Konsentrasi Arsen di perairan (sungai) Surabaya

Dari hasil pengukuran analisis kuantitatif pada *Gambar 4.5*, konsentrasi Arsen pada cuplikan air sungai dan laut berkisar 0,001114 – 0,041533 ppm dan konsentrasi tertinggi pada lokasi 10 (Muara Kali Kedinding) dengan konsentrasi sebesar 0,041533 ppm, apabila dibandingkan menurut Perda kota Surabaya No. 02 tahun 2004, maka konsentrasi As untuk seluruh lokasi sungai belum melebihi batas maksimum baku mutu air sungai sesuai dengan penetapan klasifikasi yang diperkenankan yaitu (Kelas I : 0,05 ppm ; IV : 1 ppm). Terlihat jelas pada *Gambar 4.5*, bahwa konsentrasi As lebih sedikit terlarut dalam air dan lebih banyak mengendap pada sedimen. Konsentrasi As yang terkandung dalam sedimen berkisar 1,525716 – 5,562381 ppm dan konsentrasi tertinggi pada lokasi 7 (Muara Kali Sari) tetapi belum adanya peraturan mengenai ambang batas kadar logam berat pada sedimen di perairan. Tingginya konsentrasi As dalam sedimen ini diperkuat oleh data dari Jasa Tirta tahun 2003, hasil kegiatan pemantauan kualitas air di DPS Kali Brantas kota Surabaya yang menjelaskan bahwa sungai di sekitar daerah Karangpilang, Kali Sepanjang, Gunungsari dan Kali Mas

kekurangan oksigen (DO rendah), kekurangan oksigen ini mengakibatkan daya larut logam berat menjadi lebih rendah dan lebih mudah mengendap. Penyebab kurangnya kadar oksigen dalam air ialah limbah organik (minyak, plastik, pestisida, deterjen dll) yang terkandung dalam air, limbah organik akan mengalami degradasi oleh bakteri (menggunakan oksigen dalam air) sehingga lama kelamaan oksigen yang terlarut dalam air akan berkurang.

Konsentrasi arsen yang terkandung dalam air sungai belumlah melebihi batas ambang, tetapi bukanlah tidak mungkin pencemaran arsen di perairan akan semakin meningkat dengan kemajuan industri dari tiap tahunnya dan meningkatnya jumlah penduduk yang bersamaan dengan meningkatnya limbah buangan domestik yang dihasilkan. Limbah buangan yang mengandung logam Arsen merupakan bahan buangan yang bersifat anorganik yang mana jenis limbah ini tidak dapat membusuk dan sulit didegradasi oleh mikroorganisme, umumnya logam-logam yang terdapat dalam perairan terbentuk dengan senyawa lain seperti: senyawa oksida, sulfida yang menyebabkan logam lebih mudah mengendap. Apabila konsentrasi Arsen yang terkandung dalam air sungai dan laut tinggi akan berbahaya bagi tubuh manusia, dan untuk air sungai tidak dapat digunakan sebagai air minum (Wardhana, 2001).

Konsentrasi As dalam cuplikan biota eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms) pada lokasi 1 (0,488753 ppm), lokasi 2 (0,235458 ppm), lokasi 4 (0,771989 ppm), lokasi 5 (0,292101 ppm), lokasi 10 (2,421677 ppm) ; tanaman bakau (*Rhizophora.sp.*) lokasi 7 (2,800855 ppm) dan konsentrasi tertinggi pada

tanaman bakau, tetapi belum adanya peraturan mengenai ambang batas pada bakau.

4.3.1.2. Konsentrasi Arsen di perairan (laut) Surabaya

Konsentrasi Arsen pada air laut berkisar 0,000079 – 0,002122 ppm, apabila dibandingkan menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004, belum melebihi kadar maksimum baku mutu air laut untuk biota laut (0,012 ppm). Konsentrasi As pada air laut lebih kecil daripada yang terkandung dalam air sungai, perairan yang relatif tenang dan arusnya kecil menyebabkan logam mempunyai kesempatan yang kecil untuk di distribusikan secara meluas. Konsentrasi As diperairan laut lebih banyak mengendap di sedimen yang berkisar antara 5,608636 – 13,152051 ppm dan yang tertinggi ditemukan pada lokasi 9 (Pesisir Kedung Cowek) dengan konsentrasi sebesar 13,152051 ppm. Tingginya konsentrasi As di sedimen diduga disebabkan karena lokasi 9 merupakan daerah tempat berkumpulnya aliran air sungai dari lokasi 1 (Tengah Kali Surabaya), lokasi 2 (Hilir Kali Surabaya), lokasi 3 (Hulu Kali Mas) dan lokasi 10 (Muara Kali Kedinding) yang dimana pada lokasi tersebut terdapat industri yang menggunakan Arsen pada proses produksinya, seperti industri metallurgi, produk *glassware*, keramik, serta industri yang menggunakan bahan warna (*dyeing*) dan pestisida, industri-nya antara lain : pada lokasi 1 (Tengah Kali Surabaya) industri tekstil (PT. Gawerejo) yang menggunakan bahan warna sintesis yang menghasilkan limbah cair yang mengandung bahan warna, asam dan alkali yang tergolong bahan B3, industri kertas (PT. Suparma) yang menggunakan bahan baku warna, lokasi 2 (Hilir kali Surabaya) terdapat industri serbet dan

selimut (cv. Gunungsari) yang menggunakan bahan baku warna, industri kaos (cv. Gawerejo dan cv. Bintang Apollo) yang menggunakan bahan pewarna dan lokasi 3 (Hulu Kali Mas) terdapat industri cat (nv. Mataram) yang menggunakan bahan pewarna. Yang dimana aliran air sungai dari lokasi-lokasi tersebut terkumpul menjadi satu di lokasi 9 (Pesisir Kedung Cowek).

Tingginya sedimen akan menyebabkan peningkatan kekeruhan air dan mengganggu organisme yang memerlukan cahaya untuk hidupnya. Hal ini menunjukkan bahwa akumulasi tertinggi dari logam berat terjadi pada sedimen dan memberikan petunjuk bahwa sebagian besar senyawa pada logam berat yang masuk ke perairan Surabaya berbentuk endapan dan hanya sebagian kecil yang terlarut dalam air. Dikemukakan dugaan, bahwa logam berat dalam perairan baik yang berasal dari sungai, laut maupun dari organisme yang hidup dan mati pada fase akhir akan mengendap ke sedimen dasar perairan, hal ini akan diperkuat dengan data besaran F_B dan F_D dalam *Gambar 4.12*.

Sedimen telah menjadi faktor utama penyebab penurunan daya dukung ekosistem di perairan. Peningkatan beban sedimen ini terutama disebabkan oleh meningkatnya laju erosi dari aktivitas-aktivitas yang ada di daratan. Tingginya tingkat beban sedimen akan menyebabkan perubahan integritas ekologis dan peranan daerah tersebut dalam ekosistem pesisir. Akibat dari tingginya konsentrasi As pada sedimen juga meningkatkan konsentrasi As pada biota ikan Belanak (*Moolgarda delicatus*) pada lokasi 6 (7,435021 ppm), lokasi 8 (3,336797 ppm), lokasi 12 (2,471655 ppm) dan ikan Gelama (*Johnius (Johnieops) Borneen*) lokasi 9 (2,470899 ppm). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi

Arsen pada biota (ikan) telah melebihi ambang batas menurut Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan Nomor 03725/B/SK/VII/89 tentang batas maksimum cemaran logam berat Arsen yang diperkenankan (1,0 ppm) dan yang tertinggi pada ikan Belanak pada lokasi 6 (Pesisir Pantai Wonokromo).

Perairan umumnya memiliki struktur komunitas dengan struktur trofik yang lengkap dengan ciri-ciri biota yang beragam serta produktivitas yang tinggi. Di samping itu peningkatan logam berat di lingkungan perairan telah menyebabkan efek toksik pada biota-biota perairan. Karena sifatnya yang akumuatif maka logam berat cenderung untuk mengendap pada biota air. Pada penelitian ini yang menjadi bioindikator laut adalah ikan, dimana pencemaran Arsen yang terjadi pada ikan ini disebabkan karena ikan Belanak dan ikan Gelama hasil tangkapan dari pantai mempunyai akumulasi yang tinggi dan hidupnya tidak berpindah-pindah. Unsur logam berat yang terabsorpsi oleh biota laut ini terjadi pada ikan. Pada saat bernafas, air masuk ke insang dengan membawa logam berat dan saat air dikeluarkan lagi logam pencemar tertinggal di dalam alat pernapasan hewan tersebut. Proses ini berlanjut terus sampai pada suatu saat terdapat endapan logam berat yang cukup besar di tubuh ikan. 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 ikan. Proses akumulasi logam berat akan jauh lebih cepat melalui rantai makanan yang telah tercemar dari pada di dalam air, melalui akumulasi tersebut konsentrasi logam berat akan tinggi di dalam ikan.

Akumulasi melalui rantai makanan dimana logam pencemar masuk ke dalam tubuh suatu organisme (misal: plankton/tanaman air) melalui endapan pada dasar laut. Kemudian organisme tersebut dimakan oleh organisme lain (ikan kecil) dan organisme ini dimakan oleh organisme lainnya lagi (ikan besar). Peristiwa ini terjadi secara beruntun sehingga konsentrasi tertinggi logam berat terdapat pada organisme konsumen terakhir, yaitu manusia. Ikan Belanak dan ikan Gelama merupakan jenis biota laut yang mengkonsumsi plankton sebagai makanannya.

Konsentrasi Arsen yang tinggi pada ikan sangat berbahaya bagi manusia apabila mengkonsumsinya, Arsen merupakan bahan beracun yang cepat atau lambat akan menimbulkan bercak-bercak pada kulit seperti eksem dan apabila keracunan berat akan menimbulkan muntah darah lambung (Bapedal, 1994), arsen sebanyak 100 mg dapat mengakibatkan keracunan yang hebat dan arsen juga diduga dapat menyebabkan kanker, untuk menjaga ekosistem akuatik kadar arsen sebaiknya tidak lebih dari 0,05 mg/l (ppm) selain itu kadar arsen yang tinggi juga dapat merusak klorofil. Kadar arsen yang melebihi 10 mg/l bersifat toksik pada ikan. Efek keracunan kecil dimulai dengan gejala hilangnya selera, mual dan diare.



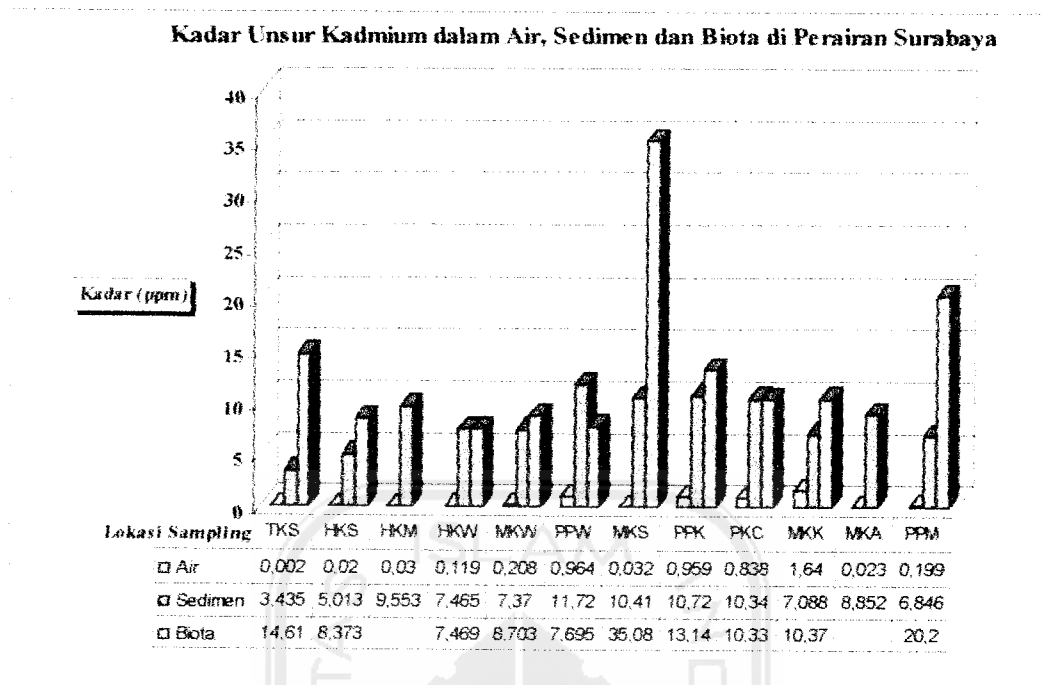
Gambar 4.6. luka kulit akibat keracunan Arsen

Sedangkan efek yang akut/kronis meliputi luka kulit (*lihat Gambar 4.6.*), sakit kepala kronis, kelesuan, bau nafas dan rasa metalik dalam mulut. Keracunan arsen pada *Gambar 4.6.* disebabkan terakumulasinya logam arsen pada tubuh. Untuk itu diperlukan upaya-upaya dari dinas terkait untuk mengatasi dan mengurangi tingkat pencemaran di perairan Surabaya, agar pencemaran yang terjadi dapat ditanggulangi sejak dini.

Pada analisis kuantitatif didapatkan nilai keseksamaan (presisi) hasil perhitungan konsentrasi logam berat Arsen dalam air, sedimen dan biota di perairan Surabaya, seperti yang tercantum pada *lampiran C2*. Nilai presisi yang didapat menunjukkan homogenisasi dari cuplikan yang dianalisis. Dalam penelitian ini presisi air berkisar 26,11 % - 60,21 % walaupun sebagian lokasi ada yang mendekati 92,20 %. Untuk presisi dalam sedimen cukup baik, berkisar antara 72,29 % - 89,35 %, sedangkan untuk presisi dalam biota yang didapat dalam pengukuran berkisar 61,78 % - 100 %. Rendahnya nilai presisi dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain: Kesalahan pada saat penghomogenan cuplikan; cara membaca data yaitu lama pencacahan sampai foton γ memenuhi statistik. Presisi akan menjadi baik apabila variasi hasil yang diperoleh dari hasil penelitian tersebut dilakukan secara berulang-ulang. Meskipun didalam pelaksanaan analisis sudah dilakukan perulangan sebanyak 3 kali (*triple*), tetapi ada sebagian yang tidak terdeteksi (nilai netto cuplikan lebih kecil dari standar sekunder) hal ini juga kemungkinan yang mempengaruhi nilai presisinya rendah.

4.3.2. Konsentrasi Unsur Kadmium (Cd)

Kadmium adalah unsur alami yang terjadi di dalam perut bumi. Kadmium biasanya ditemukan bersamaan dengan senyawa-senyawa lain seperti oksigen (*oksida cadmium*), khlor (*cadmium klorid*), atau belerang (*cadmium sulfure, sulfida cadmium*) inilah yang menjadikan unsur Kadmium lebih mudah mengendap pada perairan. Kebakaran hutan, dan letusan vulkanis merupakan proses alami yang mengakibatkan emisi kadmium ke udara. Kadmium ditemukan di dalam atmosfer sekitar $0,1 - 5 \text{ ng/m}^3$, di perut bumi sekitar $0,1 - 0,5 \mu \text{ g/g}$, di sedimen laut kira-kira $1 \mu \text{ g/g}$, dan air laut sekitar $0,1 \mu \text{g/L}$. Pencemaran lingkungan oleh Kadmium berasal dari aktivitas industri, dimana Industri yang berhubungan dengan pembuatan, penggunaan, dan penjualan produk kadmium, seperti penyulingan yang memproses bahan baku kadmium yang melepaskan kadmium ke lingkungan dalam volume yang besar. Zat pencemar yang jatuh di perairan terbuka (misalnya sungai) dapat disebarkan ke tempat lain melalui alirannya. Bioakumulasi kadmium di dalam organisme merupakan suatu ancaman yang berpotensi bagi beberapa organisme ikan. Penelitian ini mencoba mengidentifikasi sejauh mana pencemaran kadmium pada air sungai, air laut, sedimen dan biota di perairan Surabaya, yang dijelaskan pada Gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4.7. Grafik konsentrasi Kadmium dalam air, sedimen dan biota

Kode lokasi

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. TKS : Tengah Kali Surabaya | 7. MKS : Muara Kali Sari |
| 2. HKS : Hilir Kali Surabaya | 8. PPK : Pesisir Pantai Kenjeran |
| 3. HKM : Hulu Kali Mas | 9. PKC : Pesisir Kedung Cowek |
| 4. HKW : Hulu Kali Wonokromo | 10. MKK : Muara Kali Kedinding |
| 5. MKW : Muara Kali Wonokromo | 11. MKA : Muara Kali Anak |
| 6. PPW : Pesisir Pantai Wonokromo | 12. PPM : Pesisir Pantai Morokrembangan |

Dari hasil analisis kuantitatif, unsur Kadmium pada cuplikan air dan sedimen terdeteksi di seluruh lokasi penelitian tetapi untuk cuplikan biota di lokasi 3 (Hulu Kali mas) dan lokasi 11 (Muara Kali Anak) tidak terdapat biota sehingga tidak dapat dibandingkan.

4.3.2.1. Konsentrasi Kadmium di perairan (sungai) Surabaya

Konsentrasi Cd dalam air sungai berkisar antara 0,020405 - 1,640233 ppm, apabila dibandingkan menurut Perda Kota Surabaya No. 02 Tahun 2004, menjelaskan bahwa seluruh kondisi air sungai sudah melebihi konsentrasi maksimum baku mutu air sesuai dengan penetapan klasifikasinya (Kelas I dan IV

: 0,01 ppm), dan konsentrasi tertinggi pada lokasi 10 (Muara Kali Kedinding) sebesar 1,640233 ppm. Tingginya konsentrasi logam berat pada air akan menjadi sumber racun bagi organisme perairan dan mengakibatkan kematian organisme tersebut. Tingginya konsentrasi logam berat Cd pada wilayah sugai berasal dari kegiatan industri *inorganic pigment, electroplating, textile printing, plastics stabilizers, alloying* dan *battery, fungisida*. Beragamnya konsentrasi Cd dalam air sungai, diduga karena beragamnya jenis industri yang berpotensi mengaliri limbah B3 dari proses produksinya tersebut pada lokasi penelitian. Industri yang diduga mencemari lokasi penelitian antara lain : lokasi 1 (Tengah Kali Surabaya): industri kertas (PT. Suparma) yang menggunakan bahan warna sebagai bahan baku; lokasi 2 (Hilir kali Surabaya): industri serbet dan selimut (cv. Gunungsari) yang menggunakan bahan baku pewarna, industri kaos yang menggunakan bahan baku warna (cv. Pangestu, cv. Gawerejo dan cv. Bintang Apollo), industri kulit reptil yang menggunakan bahan pewarna (PT. Kaltim Leather); lokasi 3 (Hulu Kali Mas): industri cat (nv. Mataram) yang menggunakan pigment dan warna dalam proses produksinya, selain itu yang mempengaruhi konsentrasi logam Cd pada lokasi ini juga industri-industri dari lokasi Tengah Kali Surabaya dan Hilir Kali Surabaya yang aliran airnya mengalir ke lokasi ini; lokasi 4 (Hulu Kali Wonokromo): pada lokasi ini tidak terdapat industri besar yang menghasilkan limbah B3, namun tidak menutup kemungkinan bahwa limbah dari lokasi Tengah Kali Surabaya dan Hilir Kali Surabaya mempengaruhi peningkatan konsentrasi Cd pada lokasi ini ; lokasi 5 (Muara Kali Wonokromo): industri tekstil (PT. Horizonsyntex) yang menggunakan bahan warna pada proses printing/linishing,

industri lampu tekan (PT. Star Angkasa dan PT. Solihin Jaya), industri lampu pijar (PT. Sinar Angkasa), industri batu baterai (PT. Hari Terang), industri pestisida (PT. Agrocab) dan industri-industri dari lokasi Tengah Kali Surabaya, Hilir Kali Surabaya serta Hulu Kali Wonokromo yang dimana aliran air dari lokasi tersebut yang diduga juga menyebabkan penambahan konsentrasi Cd pada lokasi ini; lokasi 7 (Muara Kali Sari): pada lokasi ini mengalami penurunan konsentrasi karena tidak terdapat industri yang menggunakan cd pada produksinya, tetapi aliran air dari lokasi 1, 2 dan 3 yang disekitar lokasi tersebut terdapat industri yang berpotensi mengeluarkan limbah B3 yang mengandung unsur Cd dan aliran airnya mengalir sampai ke lokasi ini; lokasi 10 (Muara Kali Kedinding): disekitar lokasi ini tidak terdapat industri yang menghasilkan logam Kadmium, namun tidak menutup kemungkinan aliran sungai dari lokasi 1,2 dan 3 yang menjadikan konsentrasi kadmium tinggi ; lokasi 11 (Muara Kali Anak): industri cat (cv. Java) yang menggunakan warna, pigment pada produknya, industri lampu tekan (PT. Agustin Jaya).

Sedangkan konsentrasi Cd pada sedimen berkisar 3,435201 – 10,410098 ppm dan konsentrasi tertinggi pada lokasi 7 (Muara Kali Sari) dengan konsentrasi sebesar 10,410098 ppm. Konsentrasi logam berat Cd dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan konsentrasi Cd dalam air, tetapi belum adanya peraturan yang mengatur pencemaran logam berat dalam sedimen tersebut. Daya larut logam berat mungkin bisa menjadi lebih tinggi atau lebih rendah, hal ini tergantung pada kondisi lingkungan perairan. Pada daerah-daerah yang kekurangan oksigen, daya larut logam berat menjadi lebih rendah dan lebih mudah mengendap

(Supriharyono, 1984). Dari data Jasa Tirta tahun 2003, hasil kegiatan pemantauan kualitas air di DPS Kali Brantas kota Surabaya menjelaskan bahwa sungai di sekitar daerah Karangpilang, Kali Sepanjang, Gunungsari dan Kali Mas kekurangan oksigen (DO rendah). Apabila bahan buangan padat larut di dalam air, maka kepekatan air atau berat jenis cairan juga akan naik. Tingginya konsentrasi Cd dalam sedimen memungkinkan tingginya konsentrasi Cd dalam biota sungai pada penelitian ini. Pada *Gambar 4.7*, konsentrasi Cd dalam biota sungai tertinggi terdapat pada tanaman bakau (*Rhizophora.sp.*) di lokasi 7 (Muara Kali Sari) dengan konsentrasi sebesar 35,079102 ppm bersamaan dengan tingginya konsentrasi Cd pada sedimen. Konsentrasi Cd pada cuplikan biota lebih tinggi dari pada yang terdapat di cuplikan air dan sedimen, hal ini akan diperkuat dengan data besaran F_B dan F_D dalam *Gambar 4.12*. Dari penelitian ini yang tertinggi ditemukan pada tanaman bakau, dimana akumulasi terjadi melalui penguapan air. Dapat dilihat pada *Gambar 4.8*, berikut ini.



Gambar 4.8. Akumulasi melalui penguapan pada air

logam berat yang larut dalam air ini akan diserap oleh akar tanaman. Air yang mengandung logam akan bergerak ke daun. Namun sesampainya di daun logam ini akan tetap tinggal, sementara itu air diuapkan oleh daun. Ada dua faktor

penting yang berhubungan erat dengan penyerapan Cd ke dalam jaringan tanaman, yaitu pH air, konsentrasi Cd dalam air dan kandungan mineral dalam air. Pada penelitian ini tanaman bakau yang digunakan sebagai penelitian adalah daunnya (www.google.com). Apabila logam Cd bertemu dengan logam Zn dalam tubuh/tumbuhan maka daya racun Cd akan menurun drastis dan baru dinetralkan oleh tubuh apabila kadar Cd-nya berada dibawah 25 ppm. Cd diatas 25 ppm tidak mampu dihalangi oleh Zn. Kekurangan logam Cd dapat meningkatkan daya racun yang dimiliki Cd dalam tubuh.

4.3.2.2. Konsentrasi Kadmium di perairan (laut) Surabaya

Sedangkan konsentrasi Cd pada air laut berkisar antara 0,199860 – 0,964100 ppm, apabila dibandingkan menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004, sudah melebihi batas maksimum baku mutu air laut untuk biota laut (0,001 ppm) dan konsentrasi Cd tertinggi didapat pada lokasi 6 (Pesisir pantai Wonokromo) sebesar 0,964100. Perairan pantai merupakan tempat berkumpulnya aliran air dari seluruh lokasi sungai yang ada di Surabaya, ini menjelaskan bahwa konsentrasi Cd yang terkandung pada air laut lebih tinggi dari pada air sungai. Pada lokasi 6 (Pesisir Pantai Wonokromo): lokasi ini konsentrasi Cd mengalami peningkatan dikarenakan lokasi ini tempat terkumpulnya aliran air sungai dari lokasi 1, 2, 3, 4 dan 5 yang dimana pada setiap lokasi tersebut banyak terdapat industri-industri yang berpotensi mengeluarkan limbah B3; lokasi 8 (Pesisir pantai Kenjeran): pada lokasi ini merupakan tempat berkumpulnya aliran air dari industri yang ada disekitar Kali Surabaya ; lokasi 9 (Pesisir Kedung Cowek): aliran air sungai dari lokasi 1,2 dan 3 berkumpul

menjadi satu pada lokasi ini meskipun tidak terdapat industri yang menggunakan Cd pada proses produksinya; lokasi 12 (Pesisir pantai Morokrembangan) : lokasi ini tempat berkumpulnya aliran air dari Kali Anak. Konsentrasi logam berat pada suatu perairan dari waktu ke waktu selalu berubah-ubah, konsentrasinya bisa semakin meningkat maupun sebaliknya menurun. Hal ini karena kondisi air laut sangat labil. Adanya pergerakan arus, gelombang, curah hujan dan perubahan kondisi lingkungan yang berlangsung terus menerus akibat masuknya air limbah akan mempengaruhi konsentrasi logam berat dalam air. Limbah buangan yang mengandung logam Cd merupakan bahan buangan yang bersifat anorganik yang mana jenis limbah ini tidak dapat membusuk dan sulit didegradasi oleh mikroorganisme, apabila konsentrasi Kadmium yang terkandung dalam air sungai dan laut tinggi akan berbahaya bagi tubuh manusia, dan air tersebut tidak dapat digunakan sebagai air minum (Wardhana, 2001). Tingginya konsentrasi Cd dalam air ($1\ \mu\text{g}$ - $10\ \mu\text{g}$) akan mengakibatkan kerusakan pada ginjal yang mana ginjal merupakan organ yang kritis apabila kelebihan Cd. Kerusakan ginjal yang terjadi akibat dari proses terakumulasinya Cd dalam tubuh. Pada dasarnya konsentrasi Cd dalam air dapat diserap dan dicerna oleh tubuh manusia dalam proporsi sekitar 5 – 10 %.

Konsentrasi Cd dalam sedimen lebih tinggi daripada yang terkandung dalam air laut. Konsentrasi Cd dalam sedimen berkisar 6,846202 – 11,721059 ppm dan yang tertinggi ditemukan pada lokasi 6 (Pesisir Pantai wonokromo). Tingginya konsentrasi logam berat pada sedimen akan menyebabkan : kekeruhan dalam air, mengurangi kemampuan ikan dan organisme lain memperoleh

makanan, insang ikan akan tertutup sedimen, bagian bawah sedimen akan (merusak plankton) yang menjadi pakan ikan, merusak telur ikan, membendung aliran sungai. Hal ini sudah tentu akan berakibat terhadap kehidupan organisme yang ada di dalam air. Konsentrasi logam berat yang tinggi pada sedimen memungkinkan konsentrasi dalam biota juga tinggi. Pada penelitian ini menunjukkan hal yang demikian, lokasi dengan konsentrasi sedimen yang tinggi maka konsentrasi logam dalam biota (eceng gondok, t. Bakau, ikan Belanak dan ikan Gelama) juga tinggi, hal ini akan diperkuat dengan data besaran F_B dan F_D dalam **Gambar 4.12**. Tingginya konsentrasi logam Cd dalam biota juga dibuktikan dengan teori yang menyatakan bahwa 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 unsur logam berat yang terabsorpsi oleh biota laut (ikan), meskipun prosesnya lambat namun apabila berlangsung terus menerus dalam jangka waktu yang lama, maka proses akumulasi yang terjadi akan menghasilkan konsentrasi logam Cd yang cukup tinggi dalam tubuh organisme. Proses akumulasi logam berat akan jauh lebih cepat melalui rantai makanan yang telah tercemar dari pada di dalam air. Cd berbahaya apabila diserap oleh hewan air (ikan) melalui insang dan saluran pencernaan, jika hewan air tersebut tahan terhadap konsentrasi logam yang tinggi maka logam itu dapat tertimbun di dalam jaringannya terutama hati dan ginjal pada konsentrasi 1 $\mu\text{g/g}$ (0,1 – 1 $\mu\text{g/g}$). Logam ini juga berkaitan dengan protein sehingga disebut *metalotionein* yang bersifat agak permanen dan mempunyai waktu paruh cukup lama (*biological half*

life). Keracunan kronis Cd lebih sering dijumpai di lapangan pada manusia, ini erat hubungannya dengan kualitas lingkungan yang menurun. Pada manusia Keracunan akan mengakibatkan gangguan pada organ dalam hati, ginjal, kerusakan pada tulang apabila termakan/terminum dari bahan yang terecemar Cd dengan gejala : mual, muntah, diare, kejang perut, dan pusing, yang mana Cd akan menghambat kerja dari *selfhydril enzym*, dan diduga sebagai karsinogen. 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).

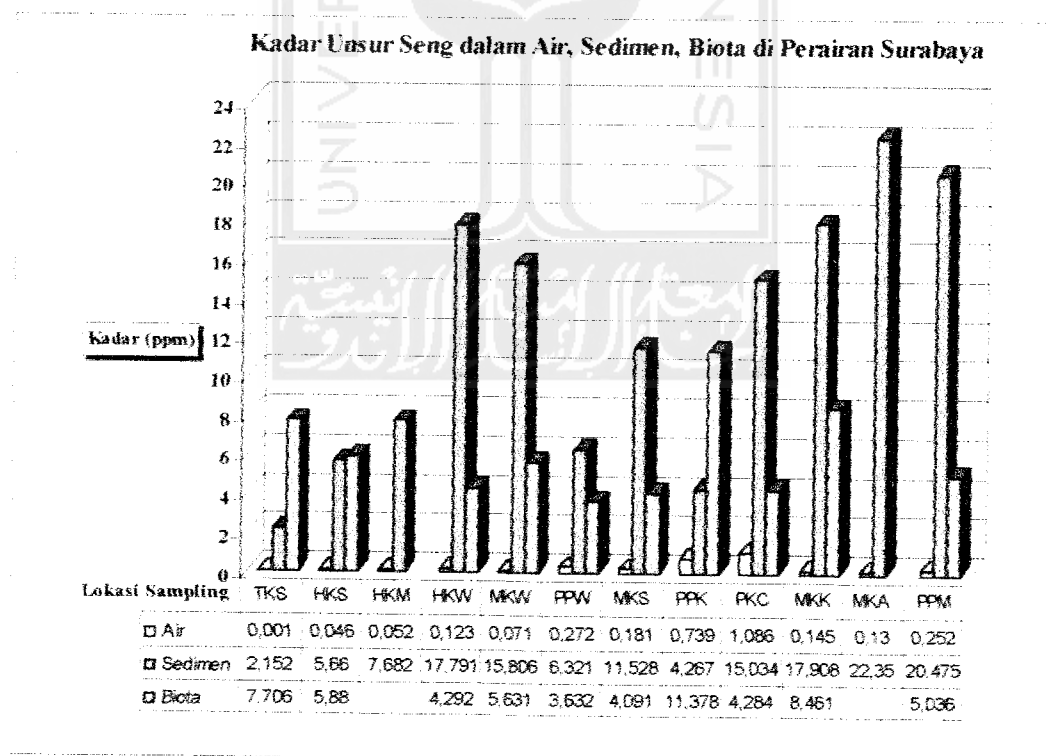
Tetapi sampai sekarang belum ada bukti secara ilmiah yang menyatakan bahwa manusia akan terkontaminasi kadmium melalui rantai makanan, kebanyakan yang terjadi adalah keracunan kadmium melalui debu serta uap yang sebagian besar dari kondisi pekerjaan (bekerja di industri yang menggunakan/menghasilkan kadmium) dan berakibat keracunan akut (gangguan pernafasan), sedangkan efek kronis yang ditimbulkan apabila konsentrasi kadmium yang terdapat dalam tubuh mencapai 20 µg/l namun itupun akan terlihat setelah sekitar 20 tahun. Apabila logam Cd bertemu dengan logam Zn dalam tubuh maka daya racun Cd akan menurun drastis dan baru dinetralkan oleh tubuh apabila kadar Cd-nya berada dibawah 25 ppm. Cd diatas 25 ppm tidak mampu dihalangi oleh Zn. Kekurangan logam Zn dapat meningkatkan daya racun yang dimiliki dalam tubuh.

Nilai presisi pada penelitian ini menerangkan homogenisasi pada cuplikan yang diteliti pada saat preparasi. Didapatkan nilai keseksamaan (presisi) hasil

perhitungan konsentrasi logam berat Cd dalam air, sedimen dan biota di perairan Surabaya, seperti yang ditunjukkan oleh *Lampiran C2*, dalam penelitian ini presisi air cukup baik berkisar 50,99 % - 100 % walaupun ada sebagian lokasi yang masih dibawah 50 %. Untuk presisi dalam sedimen cukup baik, berkisar antara 64,03 % - 90,93 %, sedangkan untuk biota presisi dikatakan belum cukup baik karena nilai yang didapat dalam pengukuran berkisar 24,44 % - 66,88 %. Rendahnya nilai presisi dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain: Kesalahan pada saat penghomogenan cuplikan; cara membaca data yaitu lama pencacahan sampai foton γ memenuhi statistik. Presisi akan menjadi baik apabila variasi hasil yang diperoleh dari hasil penelitian tersebut dilakukan secara berulang-ulang. Meskipun didalam pelaksanaan analisis sudah dilakukan perulangan sebanyak 3 kali (*triple*), tetapi ada sebagian yang tidak terdeteksi (nilai *netto* cuplikan lebih kecil dari standar sekunder) hal ini juga kemungkinan yang mempengaruhi nilai presisinya rendah.

4.3.3. Konsentrasi Unsur Seng (Zn)

Seng merupakan suatu unsur penting untuk semua makhluk hidup, dari manusia sampai mikroorganisme yang paling kecil, tetapi apabila kelebihan akan bersifat toksik pada manusia. Seng telah digunakan secara alami untuk suatu peranan tertentu dalam berbagai reaksi biologi. Apabila seng hadir di perairan permukaan akhirnya tersimpan di dalam sedimen sungai, kawasan pantai dan muara dengan konsentrasi yang tinggi akan mengakibatkan penurunan kualitas dari perairan itu sendiri. Bagaimanapun, banyak faktor yang menyebabkan akumulasi seng dalam air seperti temperatur dan kekuatan badan air penerima untuk mendegradasi unsur. Berikut ini merupakan hasil penelitian logam seng yang terkandung dalam air, sedimen dan biota.



Gambar 4.9. Grafik konsentrasi Seng dalam air, sedimen dan biota

Kode lokasi

1. TKS : Tengah Kali Surabaya

7. MKS : Muara Kali Sari

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 2. IKS : Hilir Kali Surabaya | 8. PPK : Pesisir Pantai Kenjeran |
| 3. IKM : Hulu Kali Mas | 9. PKC : Pesisir Kedung Cowek |
| 4. HKW : Hulu Kali Wonokromo | 10. MKK : Muara Kali Kedinding |
| 5. MKW : Muara Kali Wonokromo | 11. MKA : Muara Kali Anak |
| 6. PPW : Pesisir Pantai Wonokromo | 12. PPM : Pesisir Pantai Morokrembangan |

Dari *Gambar 4.9*, konsentrasi Seng (Zn) terdeteksi pada cuplikan air dan sedimen di seluruh lokasi penelitian, hanya saja untuk cuplikan biota di lokasi 3 dan 11 tidak terdapat biota sehingga tidak dapat dibandingkan.

4.3.3.1. Konsentrasi Seng di perairan (sungai) Surabaya

Berdasarkan data kuantitatif dari *Gambar 4.9*, terlihat bahwa konsentrasi Zn dalam air sungai berkisar antara 0,00154 – 0,181933 ppm, apabila dibandingkan menurut Perda Kota Surabaya No. 02 Tahun 2004 sesuai dengan penetapan klasifikasinya (Kelas I : 0,05 ppm dan kelas IV : 2 ppm) adalah lokasi 4 (Hulu Kali Wonokromo), maka lokasi yang sudah melebihi batas ambang adalah lokasi 4 (Hulu Kali Wonokromo). Tingginya konsentrasi Zn pada lokasi 4 diduga disebabkan aliran sungai dari lokasi 1 dan 2 mengalir sampai ke lokasi ini, pada lokasi 1 dan 2 terdapat industri yang menggunakan Zn pada proses produksinya. Semua komponen pencemar tersebut (secara umum berupa komponen fisik, kimia, mikrobiologi) yang saling mendukung terjadinya proses pencemaran sungai dan pantai. Demikian pula adanya keterkaitan antara pencemaran yang dipengaruhi oleh faktor alam maupun dari aktifitas/kegiatan manusia (limbah domestik) dapat menambah beban pencemaran pada perairan. Kadar seng pada air minum sebaiknya tidak lebih dari 5 mg/l. Toksisitas seng menurun dengan meningkatnya suhu dan menurunnya oksigen terlarut. Konsentrasi Zn pada air sungai lebih kecil bila dibandingkan yang terkandung dalam sedimen. Konsentrasi

Zn pada sedimen berkisar antara 2,152059 – 22,350659 ppm, konsentrasi tertinggi ditemukan pada lokasi 11 (Muara Kali Anak). Peningkatan sedimen pada perairan akibat dari kurangnya oksigen yang terkandung dalam perairan dan mengakibatkan daya larut logam berat menjadi lebih rendah dan lebih mudah mengendap. Tingginya konsentrasi Zn pada sedimen akan menyebabkan peningkatan kekeruhan air dan dapat mengganggu organisme yang memerlukan cahaya untuk hidupnya. Pada daerah-daerah yang kekurangan oksigen, daya larut logam berat menjadi lebih rendah dan lebih mudah mengendap (Supriharyono, 1984). Dari data Jasa Tirta tahun 2003, hasil kegiatan pemantauan kualitas air di DPS Kali Brantas kota Surabaya menjelaskan bahwa sungai di sekitar daerah Karangpilang, Kali Sepanjang, Gunungsari dan Kali Mas kekurangan oksigen (DO rendah). Tingginya sedimen akan menyebabkan peningkatan kekeruhan air dan mengganggu organisme yang memerlukan cahaya untuk hidupnya. Hal ini menunjukkan bahwa akumulasi tertinggi dari logam berat terjadi pada sedimen dan memberikan petunjuk bahwa sebagian besar senyawa pada logam berat yang masuk ke perairan sungai Surabaya berbentuk endapan dan hanya sebagian kecil yang terlarut dalam air. Dikemukakan dugaan, bahwa logam berat dalam perairan, baik yang berasal dari sungai, laut maupun dari organisme yang hidup dan mati pada fase akhir akan mengendap ke sedimen dasar perairan, sehingga pencemaran sungai akan mirip dengan pencemaran di pantai hal ini akan diperkuat dengan data besaran F_B dan F_D dalam *Gambar 4.12*. Tingginya konsentrasi Zn pada sedimen memungkinkan tingginya konsentrasi pada biota, pada penelitian ini konsentrasi Zn pada eceng gondok: lokasi 1 (7,706584 ppm), lokasi 2 (5,880655

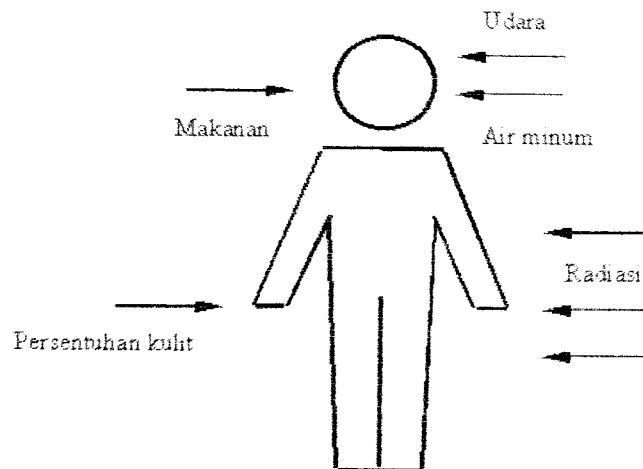
ppm), lokasi 4 (4,4217 ppm), lokasi 5 (5,631794 ppm) dan lokasi 10 (8,461782 ppm) ; sedangkan pada tanaman bakau: lokasi 7 (4,091149 ppm), pada cuplikan biota konsentrasi tertinggi ditemukan pada eceng gondok lokasi 10.

4.3.3.2. Konsentrasi Seng di perairan (laut) Surabaya

Sedangkan untuk air laut konsentrasi Zn di seluruh lokasi pantai sudah melebihi standar baku mutu menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Thn. 2004 bagi air laut untuk biota laut (0,05 ppm). Konsentrasi Zn pada air laut lebih besar bila dibandingkan pada air sungai, dengan beragamnya industri yang menggunakan bahan baku Zn pada proses produksinya yang membuang limbah di perairan sungai serta limbah kegiatan domestik yang dapat mencemari sungai secara alami dan akhirnya akan mengumpul menjadi satu di pesisir pantai juga menjadikan faktor tingginya konsentrasi Zn di perairan laut. Kegiatan industri juga diduga menjadi salah satu penyebab tingginya konsentrasi Zn di beberapa lokasi 6, 8, 9 dan 12 tempat berkumpulnya aliran sungai dari lokasi 1,2,3,4,5,7, dan lokasi 11. Konsentrasi Zn lebih banyak mengendap pada sedimen, dari hasil penelitian didapatkan lokasi 6 (6,321511 ppm), lokasi 8 (4,267273 ppm), lokasi 9 (15,034943 ppm), dan lokasi 12 (20,475004 ppm). Konsentrasi tertinggi ditemukan pada lokasi 12 (Pesisir Pantai Morokrembangan), namun belum adanya peraturan mengenai ambang batas sedimen pada perairan. Untuk cuplikan biota , ikan Belanak: lokasi 6 (3,632428 ppm), lokasi 8 (11,378225 ppm) dan lokasi 12 (5,036346 ppm) ; ikan Gelama: lokasi 9 (4,284197 ppm), konsentrasi Zn tertinggi pada ikan Belanak (*Moolgarda delicatus*) di lokasi 8 (Pesisir Pantai Kenjeran). Konsentrasi Zn pada biota (ikan) dari keterangan diatas

belum melebihi batas maksimum menurut Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan Nomor 03725/B/SK/VII/89 tentang batas maksimum cemaran logam berat Zn yang diperkenankan (100 ppm).

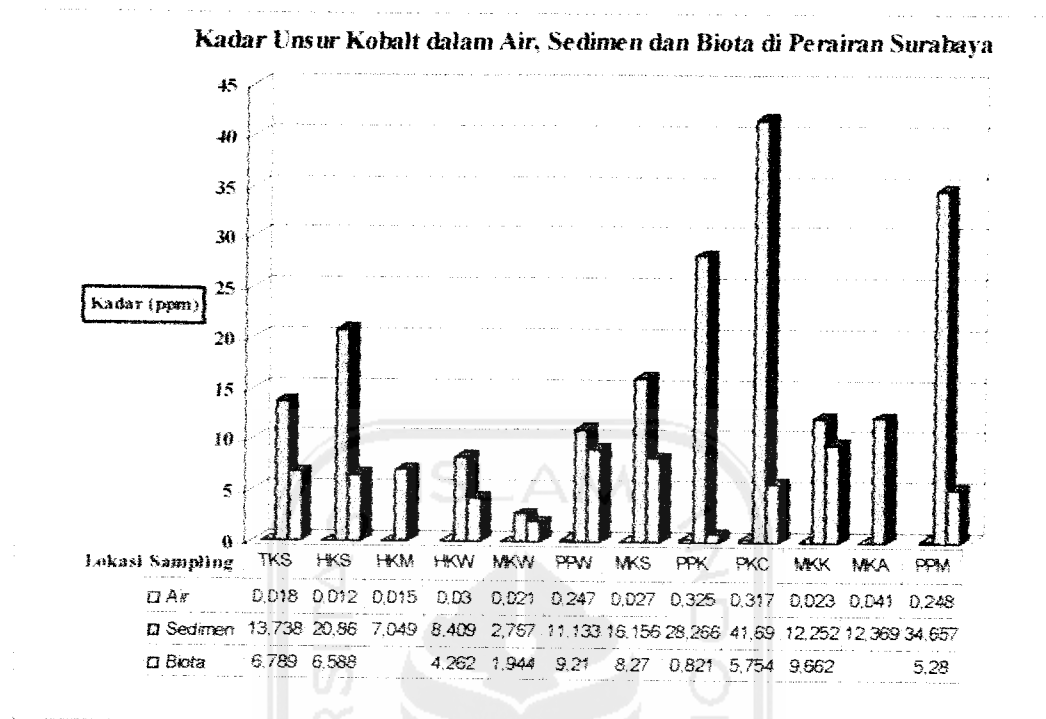
Penyebaran tingginya konsentrasi logam pada ikan melalui rantai makanan, dimana ikan dapat mengakumulasi logam ke dalam tubuhnya melalui insang dengan membawa logam berat dan pada saat air dikeluarkan lagi logam pencemar tertinggal di dalam alat pernapasan hewan tersebut. Proses ini berlanjut terus sampai pada suatu saat terdapat endapan logam berat yang cukup besar di tubuh ikan. 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 ikan. Proses akumulasi logam berat akan jauh lebih cepat melalui rantai makanan yang telah tercemar dari pada di dalam air, melalui akumulasi tersebut konsentrasi logam berat akan tinggi di dalam ikan. Toksisitas seng bagi organisme akuatik (algae, avertebrata dan ikan) sangat bervariasi, $< 1 \text{ mg/l}$ hingga $> 100 \text{ mg/l}$ (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 dan pembengkakan persendian. Zn merupakan racun protoplasma, dimana seng merupakan penyebab pneumonitis dan menyebabkan dermatitis jika kontak dengan kulit (Bapedal, 1994). keracunan Zn ini juga terjadi bersamaan dengan keracunan Cd secara kronis.



Gambar 4.10. Cara logam berat memasuki tubuh

Nilai keseksamaan (presisi) hasil perhitungan konsentrasi logam berat Zn dalam air, sedimen dan biota di perairan Surabaya seperti yang ditunjukkan pada *Lampiran C2*, dalam penelitian ini presisi air berkisar 66,47 % - 100 % sudah dapat dikatakan cukup baik. Sedangkan presisi dalam sedimen kurang baik, berkisar antara 58,42 % - 74,10 %, sedangkan untuk biota presisi yang didapat dalam pengukuran berkisar 45,41 % - 72,84 %. Rendahnya nilai presisi dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain: Kesalahan pada saat penghomogenan cuplikan; cara membaca data yaitu lama pencacahan sampai foton γ memenuhi statistik. Presisi akan menjadi baik apabila variasi hasil yang diperoleh dari hasil penelitian tersebut dilakukan secara berulang-ulang. Meskipun didalam pelaksanaan analisis sudah dilakukan perulangan sebanyak 3 kali (triple), tetapi ada sebagian yang tidak terdeteksi (nilai netto cuplikan lebih kecil dari standar sekunder) hal ini juga kemungkinan yang mempengaruhi nilai presisinya rendah.

4.3.4. Konsentrasi Unsur Kobalt (Co)



Gambar 4.11. Grafik konsentrasi Kobalt dalam air, sedimen dan biota

Kode lokasi

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. TKS : Tengah Kali Surabaya | 7. MKS : Muara Kali Sari |
| 2. HKS : Hilir Kali Surabaya | 8. PPK : Pesisir Pantai Kenjeran |
| 3. HKM : Hulu Kali Mas | 9. PKC : Pesisir Kedung Cowek |
| 4. HKW : Hulu Kali Wonokromo | 10. MKK : Muara Kali Kedinding |
| 5. MKW : Muara Kali Wonokromo | 11. MKA : Muara Kali Anak |
| 6. PPW : Pesisir Pantai Wonokromo | 12. PPM : Pesisir Pantai Morokrembangan |

Dari Gambar 4.11. diatas konsentrasi unsur Kobalt pada cuplikan air dan sedimen terdeteksi di semua lokasi, hanya saja pada cuplikan biota pada lokasi 3 dan 11 tidak terdapat biota yang dapat dijadikan cuplikan penelitian, sehingga tidak dapat dibandingkan.

4.3.4.1. Konsentrasi Kobalt di perairan (sungai) Surabaya

Dari analisis kuantitatif pada Gambar 4.11. konsentrasi Co pada air sungai berkisar 0,018033 – 0,041833 ppm, apabila dibandingkan menurut Perda

Kota Surabaya No. 02 Tahun 2004 belum melebihi batas maksimum baku mutu air sesuai dengan penetapan klasifikasinya (Kelas I dan IV : 0,2 ppm). Keracunan kobalt dapat terjadi apabila air yang terminum mengandung Co 150 ppm atau lebih. Dengan tingginya konsentrasi Co pada perairan sungai memungkinkan konsentrasi Co dalam biota juga tinggi, terlihat jelas dari *Gambar 4.11*, konsentrasi Co dalam cuplikan sedimen lebih tinggi apabila dibandingkan dengan konsentrasi Co pada air dan biota. Konsentrasi Co pada sedimen berkisar antara 2,767944 – 13,738199 ppm, dan konsentrasi tertinggi pada lokasi 1 (Tengah Kali Surabaya). Konsentrasi Co lebih banyak mengendap pada sedimen, namun belum adanya peraturan yang mengatur mengenai ambang batas sedimen di perairan. Peningkatan sedimen pada perairan akibat dari kekurangan oksigen pada masing-masing lokasi penelitian yang mengakibatkan daya larut logam berat menjadi lebih rendah dan lebih mudah mengendap. Ini dijelaskan dari data Jasa Tirta tahun 2003, hasil kegiatan pemantauan kualitas air di DPS Kali Brantas kota Surabaya menjelaskan bahwa sungai di sekitar daerah Karangpilang, Kali Sepanjang, Gunungsari dan Kali Mas kekurangan oksigen (DO rendah). Tingginya sedimen akan menyebabkan peningkatan kekeruhan pada air dan mengganggu organisme yang memerlukan cahaya untuk hidupnya. Tingginya konsentrasi sedimen ini telah menjadi faktor utama penyebab penurunan daya dukung ekosistem di perairan. Peningkatan beban sedimen ini terutama disebabkan oleh meningkatnya laju erosi dari aktivitas-aktivitas yang ada di daratan.

Dari *Gambar 4.11*, dapat terlihat konsentrasi logam berat Co pada cuplikan eceng gondok : lokasi 1 (6,789487 ppm), lokasi 2 (6,588399 ppm),

lokasi 4 (4,262903 ppm), lokasi 5 (1,944979 ppm), lokasi 10 (9,662924 ppm); T. Bakau : lokasi 7 (8,270313 ppm. Dari analisis kuantitatif tersebut, konsentrasi tertinggi pada eceng gondok (*Eichhornia crassipes (Mart) Solms*) di lokasi 10 (Muara Kali Kedinding) dengan konsentrasi sebesar 9,662924 ppm. Konsentrasi Kobalt pada cuplikan biota lebih tinggi daripada yang terkandung dalam air. Ini disebabkan terjadinya proses akumulasi antara air, sedimen, biota yang akhirnya sampai juga ke manusia.

4.3.4.2. Konsentrasi Kobalt di perairan (laut) Surabaya

Sedangkan pada air laut konsentrasi tertinggi pada lokasi 9 (Pesisir Pantai Kenjeran) dengan konsentrasi sebesar 0,325267 ppm tetapi batas ambang unsur Co dalam air laut tidak terdapat dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004. Apabila dilihat dari konsentrasi Co pada seluruh lokasi, konsentrasi terbesar ada pada wilayah pesisir pantai, hal ini disebabkan seluruh aliran air dari sungai akan berkumpul ke wilayah pesisir dan akhirnya akan menyatu di selat Madura. Dari data industri yang berpotensi mengeluarkan limbah B3, di sekitar lokasi penelitian tidak terdapat industri yang menggunakan logam Kobalt pada proses produksinya. Keracunan kobalt dapat terjadi apabila air yang terminum mengandung Co 150 ppm atau lebih. Konsentrasi Co pada cuplikan sedimen lebih tinggi daripada yang terkandung dalam air dan biota, konsentrasi sedimen berkisar antara 11,133185 – 41,6905745 ppm yang tertinggi pada lokasi 9 (pesisir kedung Cowek). Tingginya tingkat beban sedimen akan menyebabkan perubahan integritas ekologis dan peranan daerah tersebut dalam ekosistem pesisir.

Pada cuplikan biota laut ikan Belanak : lokasi 6 (9,210919 ppm), lokasi 8 (0,821843 ppm) dan lokasi 12 (5,280903 ppm); sedangkan konsentrasi Co pada ikan Gelama : lokasi 9 (5,754141 ppm). Untuk ambang batas konsentrasi Co dalam biota (ikan) tidak terdapat dalam Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan Nomor 03725/B/SK/VII/89. Dari analisis kuantitatif tersebut, konsentrasi tertinggi pada eceng gondok (*Eichhornia crassipes (Mart) Solms*) di lokasi 10 (Muara Kali Kedinding) dengan konsentrasi sebesar 9,662924 ppm.

Konsentrasi Co pada cuplikan biota lebih tinggi daripada yang terkandung dalam air. Ini disebabkan terjadinya proses akumulasi antara air, sedimen, biota yang akhirnya sampai juga ke manusia. Tingginya konsentrasi Co pada ikan karena ikan secara tetap mengkonsumsi bahan buangan (mengandung logam), kemudian terakumulasi ke dalam tubuh yang semakin lama konsentrasi logam dalam tubuhnya semakin besar. Walaupun konsentrasi yang ada di air kecil namun bisa jadi menjadi besar konsentrasinya setelah dikonsumsi oleh ikan melalui proses akumulasi. Proses akumulasi logam berat akan jauh lebih cepat melalui rantai makanan yang telah tercemar dari pada di dalam air. Akumulasi melalui rantai makanan dimana logam pencemar masuk ke dalam tubuh suatu organisme (mis. plankton/tanaman air) melalui endapan pada dasar laut. Kemudian organisme tersebut dimakan oleh organisme lain (ikan kecil) dan organisme ini dimakan oleh organisme lainnya lagi (ikan besar). Peristiwa ini terjadi secara beruntun sehingga konsentrasi tertinggi logam berat terdapat pada organisme konsumen terakhir, yaitu manusia.

Sebenarnya tubuh manusia memerlukan Co dalam jumlah yang sangat sedikit untuk proses pembentukan butir darah merah. Co dalam jumlah tertentu dibutuhkan tubuh melalui vitamin B-12 yang dimakan manusia. Dari analisis data Co dalam tubuh manusia terdapat 0,07 - 0,36 $\mu\text{g/l}$ darah. Keracunan Co dapat terjadi apabila makanan dan minuman mengandung Co 150 ppm atau lebih. Co yang masuk ke dalam tubuh dalam jumlah yang banyak akan merusak kelenjar gondok, tekanan darah menjadi tinggi, pergelangan kaki membengkak (*oedema*). Penyakit jantung juga dapat terjadi pada anak-anak yang sedang mengalami masa pertumbuhan (Darmono, 1995). Wabah keracunan Co pernah terjadi di Amerika pada tahun 1964 - 1966. Warga kota Nesbraka dan Ohama banyak menderita kelainan pada otot jantung primer. Penyebabnya diketahui bahwa warga memiliki kegemaran minum bir dengan merk yang sama (Slamet, 1995). Co yang masuk ke dalam tubuh dalam jumlah yang banyak akan merusak kelenjar gondok sehingga penderita akan kekurangan hormon kelenjar gondok.

Nilai keseksamaan (presisi) hasil perhitungan konsentrasi logam berat Co dalam air, sedimen dan biota di perairan Surabaya, seperti yang ditunjukkan oleh *Lampiran C2* dalam penelitian ini presisi air yang didapat cukup baik berkisar 67,39 % - 100 % walaupun ada sebagian lokasi yang masih dibawah 50 %. Untuk presisi dalam sedimen cukup baik, berkisar antara 63,34 % - 99,63 %, sedangkan untuk biota presisi dikatakan belum cukup baik karena nilai didapat dalam pengukuran berkisar 37,54 % - 68,67 %. Rendahnya nilai presisi dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain: Kesalahan pada saat penghomogenan cuplikan; cara membaca data yaitu lama pencacahan sampai foton γ memenuhi statistik. Presisi

akan menjadi baik apabila variasi hasil yang diperoleh dari hasil penelitian tersebut dilakukan secara berulang-ulang. Meskipun didalam pelaksanaan analisis sudah dilakukan perulangan sebanyak 3 kali (*triple*), tetapi ada sebagian yang tidak terdeteksi (nilai *netto* cuplikan lebih kecil dari standar sekunder) hal ini juga kemungkinan yang mempengaruhi nilai presisinya rendah.

Jika terdapat perbedaan konsentrasi logam berat As, Cd, Zn atau Co yang terdapat di dalam cuplikan pada masing-masing lokasi, diduga hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain;

1. Perbedaan kecepatan arus air.

Tingginya kecepatan arus air pada daerah tertentu mempengaruhi terhadap distribusi beberapa logam pada sedimen dan eceng gondok, tanaman bakau dan ikan. Semakin tinggi kecepatan arus maka semakin sulit terjadinya pembentukan endapan sungai (sedimen) dan juga semakin sulit untuk diikat oleh tanaman.

2. Perbedaan tingkat keasaman (pH).

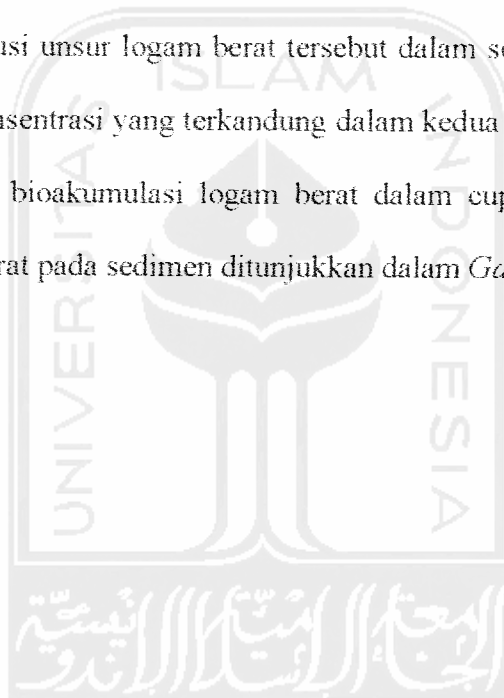
Tingkat keasaman mempengaruhi terhadap pengendapan suatu logam. Semakin tinggi pH suatu perairan menyebabkan semakin mudah terjadinya pengendapan suatu logam (Underwood, 1994), jika pada perairan tersebut terjadi kenaikan pH. Jika besar pH air sungai dan laut dari berbagai lokasi berbeda, maka dimungkinkan terjadi perbedaan kecepatan pengendapan logam, sehingga kadar logam dalam sedimen berbeda. Dari data sampling, pH di masing-masing lokasi melebihi konsentrasi normal (6,5 - 7,5) untuk memenuhi syarat suatu kehidupan organisme dalam air. Untuk data sampling dapat di lihat pada *Lampiran B1*.

3. Umur atau besar tanaman :

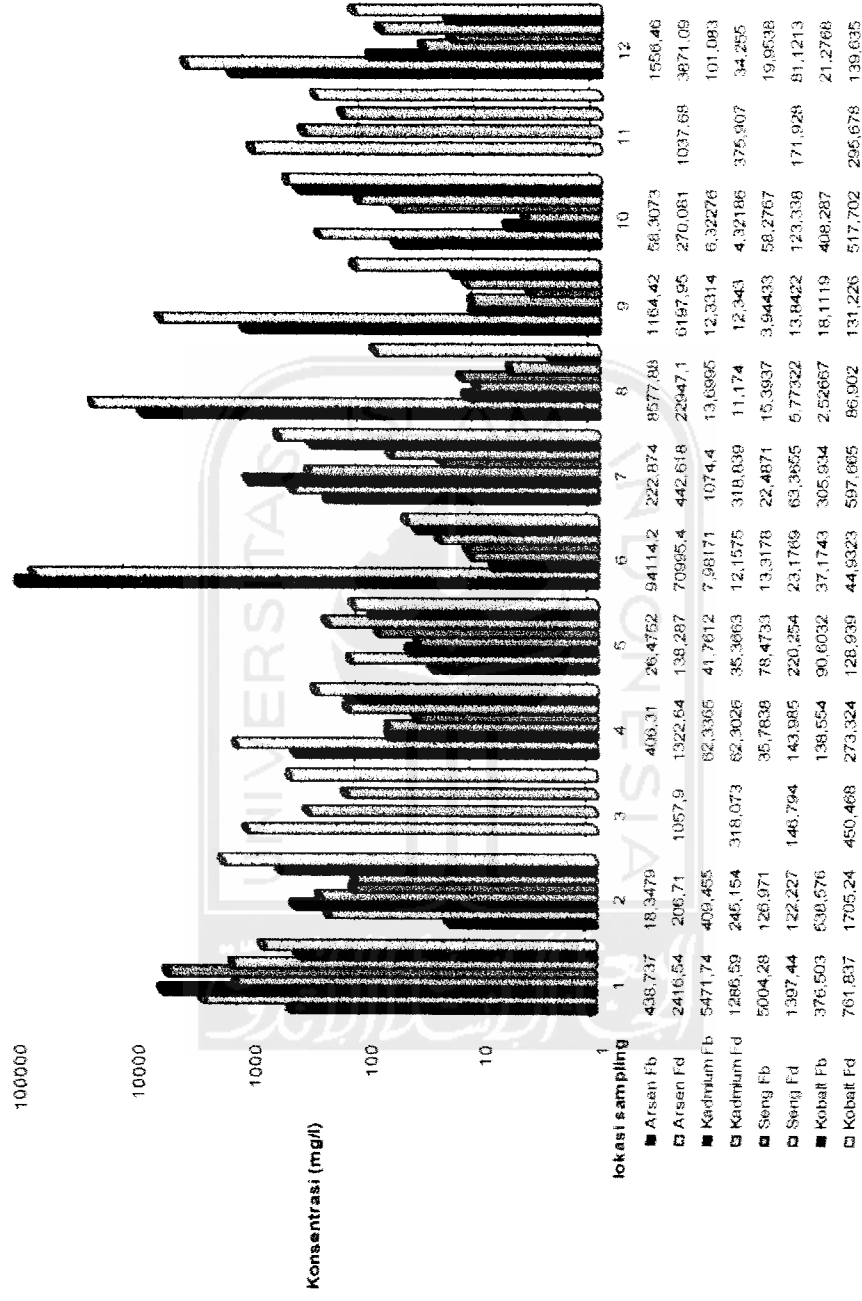
Faktor umur maupun besar tanaman mempengaruhi jumlah logam yang terserap/terikat pada tanaman, semakin tua atau besar tanaman semakin besar pula kebolehan jadiannya menyerap/mengikat logam oleh tanaman.

4.4. Faktor Bioakumulasi dan Faktor Distribusi

Untuk menghitung faktor bioakumulasi unsur logam berat dalam biota serta faktor distribusi unsur logam berat tersebut dalam sedimen sungai dan laut, diperlukan data konsentrasi yang terkandung dalam kedua cuplikan tersebut. Hasil perhitungan faktor bioakumulasi logam berat dalam cuplikan biota dan faktor distribusi logam berat pada sedimen ditunjukkan dalam *Gambar 4.12.* berikut ini:



Hasil analisis Faktor Bioakumulasi & Distribusi di perairan Surabaya



Gambar 4.12. Grafik faktor bioakumulasi dan distribusi

Pada penelitian ini (*Gambar 4.12.*) unsur Arsen (As) harga $F_D > F_B$; unsur Kadmium (Cd) harga $F_B > F_D$; unsur Seng (Zn) harga $F_D > F_B$ dan unsur Kobalt (Co) harga $F_D > F_B$; ini menunjukkan bahwa distribusi tertinggi dari logam berat terjadi pada sedimen sebagian besar senyawa logam berat yang masuk ke perairan Surabaya berbentuk endapan dan hanya sebagian kecil yang terlarut dalam air. Hal ini sesuai dengan teori, bahwa logam berat dalam perairan, baik yang berasal dari sungai maupun laut dari organisme yang hidup dan mati pada fase akhir akan mengendap ke sedimen dasar perairan, sehingga pencemaran sungai mirip dengan pencemaran di pantai. Selain itu dari *Gambar 4.12.* menunjukan konsentrasi As, Zn dan Co pada sedimen lebih besar dari pada yang terkandung dalam biota. Ini menunjukkan konsentrasi logam berat di perairan Surabaya lebih banyak terakumulasi dalam sedimen dibanding dalam biota.

Faktor bioakumulasi pada unsur Cd lebih besar dari faktor distribusi, menjelaskan bahwa logam Cd lebih mudah terakumulasi oleh cuplikan biota air dan menerangkan bahwa kemampuan eceng gondok, tanaman bakau serta ikan dalam mengakumulasi unsur-unsur logam berat dari lingkungan lebih besar dibandingkan air dan sedimen. Dengan melihat ketidaksesuaian naik / turunnya konsentrasi logam berat As, Cd, Zn dan Co pada tiap-tiap lokasi yang sama, baik di sedimen maupun biota. Hal ini juga bisa dilihat dari besarnya faktor biakumulasi F_B (biota terhadap air) maupun faktor distribusi F_D (sedimen terhadap air), maka F_B dan F_D harus dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

4.5. Uji Akurasi

Uji akurasi menerangkan sejauh mana keakurasian dari alat-alat yang digunakan pada saat analisis, baik alat pada saat preparasi, radiasi sampai pencacahan. Nilai keakurasian dikatakan baik apabila $\geq 90\%$. Keakuratan hasil pengukuran unsur logam berat dalam cuplikan dapat dilihat pada perbandingan hasil pengukuran unsur logam berat dalam standar primer SRM-2704 “*Buffallo Rivers Sediment*” sebagai berikut :

Tabel 4.1. Data perbandingan analisis unsur As, Cd, Zn dan Co dalam SRM-2704 “*Buffallo Rivers Sediment*”

Unsur	Konsentrasi ($\mu\text{g/g}$)		Bias (%)	Akurasi (%)
	Hasil Pengukuran ($\mu\text{g/g}$)	Sertifikat ($\mu\text{g/g}$)		
As	$16,150063 \pm 3,955$	$23,4 \pm 0,8$	30,98	69,02
Cd	$2,139377 \pm 0,839$	$3,45 \pm 0,22$	37,99	62,01
Zn	$23,863585 \pm 0,401729$	438 ± 12	94,55	5,45
Co	$5,487102 \pm 0,003$	$14,0 \pm 0,6$	60,81	39,19

Sumber : Data primer, Januari 2005

Untuk menguji ketepatan metode analisis yang dipergunakan, diperlukan uji akurasi (*accuration*). Hasil uji konsentrasi material acuan SRM-2704 untuk unsur As, Cd, Zn dan Co yang dilakukan dibandingkan dengan konsentrasi yang tertera dalam sertifikat material acuan dan diperoleh akurasi pengukuran konsentrasi As sebesar 69,02 %, Cd sebesar 62,01 %, Zn 5,45 % dan konsentrasi Co 39,19 %. Akurasi pengukuran As, Cd, Zn dan Co belum cukup memadai untuk keperluan analisis kuantitatif, karena berkisar dibawah 90 %, hal ini mungkin disebabkan oleh standar sekunder yang digunakan terlalu kecil (As: 2,25 ppm; Cd: 5 ppm; Zn: 7,5 ppm dan Co: 1,1 ppm) dan dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain penyimpanan cuplikan yang telah diradiasi, ketepatan menimbang atau memipet, dan ada tidaknya kontaminasi pada saat penyiapan. Untuk konsentrasi

unsur Zn standar sertifikat sangat tinggi 438 ppm sedangkan hasil pengukuran yang diperoleh sebesar 23,863585 (untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran C8-4). Hal ini juga yang mempengaruhi keakurasian unsur Zn dalam SRM-2704 terlalu kecil.

