

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

2.1.1 Definisi Logam Berat

Logam berat adalah logam-logam dan metaloid yang memiliki massa atom antara 63,5 dan 200,6 g/mol serta memiliki densitas lebih dari 4,5 g/cm³ (Shah, 2005). Logam berat pencemar lingkungan terdiri atas beberapa unsur yang dikategorikan atas pencemar prioritas tinggi, sedang dan rendah yang umumnya terlarut dalam air dalam berbagai senyawa. Logam berat tidak dapat dihancurkan oleh mikroorganisme dan dapat terakumulasi dalam tubuh manusia serta mengakibatkan kerusakan organ-organ tubuh. Logam berat menyebabkan pencemaran yang serius karena toksisitasnya dan tidak dapat terdegradasi dalam lingkungan.

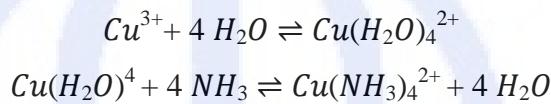
Seacara alamiah logam hadir di lingkungan dengan konsentrasi yang beragam dan terdapat pada batuan, tanah, tanaman, dan hewan. Logam dalam konsentrasi tinggi memiliki dampak negatif karena sifatnya yang mudah terakumulasi melalui rantai makanan. Kadmium, merkuri, tembaga, timbal, dan seng telah menjadi perhatian pada bidang keilmuan ekotoksikologi beberapa tahun terakhir (Bielicka dkk, 2005).

Beberapa logam berat diperlukan oleh tubuh untuk menjaga metabolisme tubuh, namun dalam jumlah yang terlalu banyak, logam berat akan bersifat toksik. Logam yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan menjadi bagian dari sistem air-sedimen dan termasuk dalam proses distribusi yang dikontrol oleh beberapa parameter fisik dan kimia. Prinsipnya, kelarutan logam diatur oleh pH, konsentrasi dan jenis ligan logam, kondisi oksidasi komponen mineral, serta sistem reduksi-oksidasi lingkungan (Leena dkk, 2012).

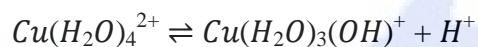
2.1.2 Karakteristik Logam Berat

Semua kation logam pada air akan terhidrasi, dimana akan terbentuk molekul *aquo*-kompleks dengan H₂O. Jumlah molekul air yang berkoordinasi biasanya berjumlah empat atau enam. Ion logam yang terikat pada molekul air disebut dengan *free aquo metal ion* (ion aquo-logam bebas), ditulis dalam notasi

$(M^{n+} \cdot x H_2O)$. Proses ini adalah reaksi hidrolisis dari logam, yang contohnya dapat dilihat pada persamaan reaksi tembaga (II) dengan air dibawah ini:



Ketika ion Cu^{2+} bebas berikatan dengan empat molekul ammonia, ion Cu^{2+} kehilangan molekul air pada bidang hidrasinya dan berikatan dengan atom nitrogen pada tiap molekul ammonia. Ion logam pun dapat terhidrolisis dalam larutan dan merepresentasikan karakteristik asamnya, yang ditunjukkan oleh contoh reaksi larutan tembaga dibawah ini:

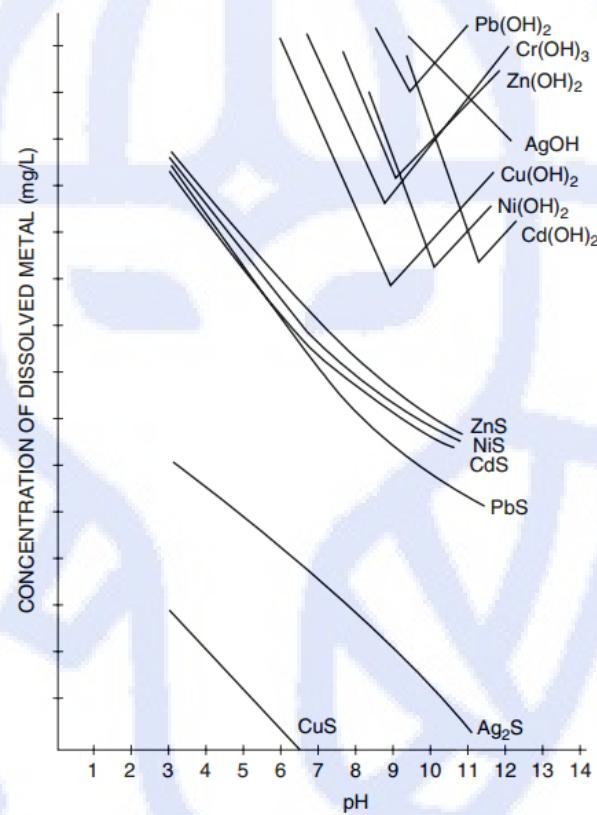


Reaksi kimia diatas menunjukkan hidrolisis ion logam dengan donasi proton, atau penerimaan ion OH^- oleh ion logam (Schnoor, 1996).

Logam berat memiliki tendensi untuk membentuk senyawa kompleks dalam larutan dan membentuk ikatan logam kompleks dengan ligan dan partikelnya. Persamaan kesetimbangan kimia digunakan untuk membedakan antara logam yang terlarut pada air dan yang diserap. *Dissolved constituents* atau senyawa terlarut didefinisikan sebagai semua material yang bisa melewati saringan membran 0,45 μm . Selain senyawa terlarut, koloid dan beberapa makromolekul juga diketahui dapat melewati filter dengan ukuran tersebut. Koefisien partisi sedimen (K_d) adalah salah satu spesi yang menjadi perhatian saat melakukan prosedur filtrasi, dimana logam yang terikat pada koloid melewati filter dan terhitung sebagai senyawa terlarut. Semakin besar padatan tersuspensi pada sebuah badan atau sampel air, semakin besar juga nilai konsentrasi logam-koloid yang melewati filter. Hal ini akan menyebabkan perbedaan pada nilai K_d , yaitu koefisien distribusi antara partikulat dan fasa terlarut (Schnoor, 1996).

Pada (**Gambar 2.1**) ditunjukkan hubungan antara kelarutan logam dan pH. Pada pH yang tinggi logam pada umumnya akan melepaskan proton dan meningkatkan aktivitas kimia pada permukaannya, sedangkan pada pH rendah permukaannya akan cenderung netral atau bermuatan positif. Presipitasi logam akan terjadi akibat ikatan dengan ion lain seperti hidroksida, sulfida, maupun dengan ion lain. Kebanyakan logam bersifat amfoterik dan hal ini menyebabkan

kelarutannya dalam larutan mencapai minimum pada pH tertentu, sehingga pada pH tersebut logam akan terpresipitasi lebih banyak dibandingkan bentuk terlarut.



Gambar 2.1 Fungsi Kelarutan Logam Hidroksida dan Logam Sulfat Berdasarkan pH

(Sumber: Hawley dkk, 2004)

Berdasarkan daya hantar panas dan listrik, semua unsur kimia yang terdapat dalam susunan berkala unsur-unsur dapat dibagi atas dua golongan yaitu logam dan non logam. Golongan logam mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi, sedangkan golongan non logam mempunyai daya hantar listrik yang rendah. Berdasarkan densitasnya, golongan logam dibagi atas dua golongan, yaitu golongan logam ringan dan logam berat. Golongan logam ringan (light metals) mempunyai densitas 5 (Hutagalung, 2004 dalam Ernawati 2010). Sedangkan (Palar, 2008 dalam Ernawati 2010) memberi karakteristik logam berat sebagai berikut:

1. Memiliki spesifikasi gravitasi yang sangat besar(>4)
2. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur lantanida dan aktanida

3. Mempunyai respon biokimia yang spesifik pada organisme hidup.

Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek khusus pada makhluk hidup. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat dapat menjadi racun bagi tubuh makhluk hidup apabila melampaui ambang batas yang diizinkan. Namun sebagian dari logam berat tersebut memang dibutuhkan oleh tubuh makhluk hidup dalam jumlah tertentu (sedikit), yang juga apabila tidak terpenuhi akan berakibat fatal terhadap kelangsungan hidup dari makhluk hidup tersebut.

2.1.3 Tembaga (Cu)

Tembaga adalah senyawa esensial pada semua spesies vertebrata, yang merupakan bagian penting dari enzim, seperti tirosinase, sitokrom oksidase, dan amin oksidase. Tembaga berperan dalam penggabungan zat besi dan hemoglobin. Di lingkungan, tembaga adalah senyawa yang umum ditemukan dan tersebar melalui banyak fenomena alam. Senyawa tembaga tidak akan terurai di lingkungan, karena sebetulnya dapat terakumulasi pada hewan dan tanaman untuk digunakan dalam proses metabolisme dalam jumlah tertentu. Pada tanah yang terlalu banyak mengandung konsentrasi tembaga akan menyebabkan kondisi yang sulit untuk tumbuh pada tanaman (Hall, 1997). Karakteristik unsur tembaga dapat dilihat pada (**Tabel 2.1**)

Tabel 2.1 Karakteristik Tembaga

No	Karakteristik	Besaran
1	Nomor atom	29
2	Nomor massa	63,546 g/mol
3	Elektronegatifitas	1,9
4	Densitas	8,9 g/cm ³ pada 20 ^o
5	Titik leleh	1083 °C
6	Titik didih	2595 °C
7	Energi ionisasi pertama	743,5 kJ/mol
8	Energi ioisasi kedua	1946 kJ/mol
9	Potensial standar	0,552 V (Cu ⁺ /Cu)

(Sumber : Lenntech, 2014)

Tembaga masuk kedalam tatanan lingkungan perairan dapat berasal dari peristiwa-peristiwa alamiah dan sebagai efek samping dari aktifitas yang dilakukan manusia. Dalam kondisi normal keberadaan Cu di perairan ditemukan dalam bentuk senyawa ion CuCO_3 dan CuOH . Bila dalam perairan terjadi peningkatan kelarutan Cu, sehingga melebihi ambang batas yang seharusnya. Maka akan terjadi peristiwa biomagnifikasi terhadap biota perairan. Peristiwa biomagnifikasi dapat diidentifikasi melalui akumulasi Cu dalam tubuh biota perairan tersebut. Akumulasi dapat terjadi sebagai akibat dari terjadinya konsumsi Cu dalam jumlah berlebihan, sehingga tidak mampu dimetabolisme oleh tubuh.

Pada konsentrasi 2.3 – 2.5 mg/l dapat mematikan ikan dan akan menimbulkan efek keracunan, yaitu kerusakan pada selaput lendir. Tembaga dalam tubuh berfungsi sebagai sintesa hemoglobin dan tidak mudah diekskresikan dalam urine karena sebagian terikat dengan protein, sebagian diekskresikan melalui empedu ke dalam usus dan dibuang ke feses, sebagian lagi menumpuk dalam hati dan ginjal, sehingga menyebabkan penyakit anemia dan tuberkolosis.

Gejala yang timbul pada manusia yang keracunan Cu akut adalah mual, muntah, sakit perut, hemolisis, netrofisis, kejang, dan kematian. Pada keracunan kronis, Cu tertimbun dalam hati dan menyebabkan hemolisis. Hemolisis terjadi karena tertimbunnya H_2O_2 dalam sel darah merah sehingga terjadi oksidasi dari lapisan sel yang mengakibatkan sel menjadi pecah. Defisiensi suhu dapat menyebabkan anemia dan pertumbuhan terhambat (Darmono, 1995).

2.1.4 Kromium (Cr)

Kromium adalah logam yang keras, berkilau, rapuh, dan berwarna perak-keabuan. Kromium tidak berwarna pada udara, namun ketika dipanaskan warnanya berubah menjadi hijau dan membentuk krom-oksida. Kromium tidak stabil pada lingkungan beroksigen, sehingga akan segera memproduksi membrane oksida tipis yang *impermeable* bagi oksigen dan melindungi struktur logam di dalamnya (Lenntech, 2014). Karakteristik kromium dapat dilihat pada (Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Karakteristik Kromium

No	Karakteristik	Besaran
1	Nomor atom	24
2	Nomor massa	51,996 g/mol
3	Elektronegatifitas	1,6
4	Densitas	7,19 g/cm ³ pada 20°
5	Titik leleh	1907 °C
6	Titik didih	2672 °C
7	Energi ionisasi pertama	651,1 kJ/mol
8	Energi ioisasi kedua	1590,1 kJ/mol
9	Potensial standar	-0,71 V (Cr ³⁺ /Cr)

(Sumber : Lenntech, 2014)

Kromium ada dalam berbagai jenis valensi, namun hanya kromium heksavalen dan trivalen yang ada hubungannya secara biologis. Kromium trivalen adalah senyawa esensial pada tubuh yang berperan pada metabolisme gula dan lemak. Kromium trivalen akan diabsorbsi oleh tubuh lebih rendah jumlahnya jika dibandingkan dengan kromium heksavalen, yang lebih mudah untuk diserap oleh tubuh (Rubin, 1978).

Kromium digunakan pada pencampuran logam dan perwarna pada cat, semen, kertas, dan material lainnya. Aktivitas manusia yang meningkatkan kadar kromium (III) adalah industri baja, penyamakan kulit, dan tekstil manufaktur, sedangkan untuk kromium (VI) adalah industri kimia, penyamakan kulit, tekstil, serta *electroplating*. Konsentrasi dari kromium biasanya akan meningkat pada air (Lenntech, 2014).

Efek toksik dari kromium baru dapat muncul setelah lebih dari 200 tahun. Gejala yang dapat dilihat dari efek keracunan kromium, yaitu gangguan pada kulit, kerusakan hati dan ginjal, serta munculnya lubang pada *nasal septum* (pembatas lubang hidung). Gejala yang sering timbul pada manusia yang berhubungan dengan keracunan kromium adalah dermatitis. (Hall dkk, 1997)

Manusia dapat terpapar oleh kromium melalui inhalasi, makanan atau minuman, dan kontak dengan kulit. Kandungan kromium pada udara dan air cenderung relatif rendah. Pada sumber air miunum pun kandungan kromium biasanya akan rendah, namun sumber air minum dapat terkontaminasi oleh kromium (IV) dan kromium heksavalen. Paparan utama kromium (III) adalah dari

makanan, biasanya sayuran, buah, daging, ragi, dan gandum. Kromium (III) adalah nutrisi esensial bagi manusia, namun jika terlalu banyak dapat menyebabkan dampak kesehatan seperti iritasi kulit. Kromium (VI) sangat berbahaya bagi kesehatan, terutama bagi pekerja di industri tekstil dan bahan. Orang yang merokok berisiko lebih tinggi untuk terpapar kromium. Penyakit lain yang dapat disebabkan oleh kromium (VI) adalah iritasi kulit, gangguan perut, pernafasan, melemahnya sistem imun, kerusakan ginjal, kerusakan hati, dan kanker paru-paru (Lenntech, 2014).

2.1.7 Seng (Zn)

Seng adalah logam putih kebiruan yang berkilau. Pada tabel periodik, Zn termasuk dalam golongan IIB. Seng bersifat rapuh dan mengkristal pada suhu normal, tetapi menjadi ulet dan lentur ketika dipanaskan pada temperatur 110 °C hingga 150 °C. Zn adalah logam yang cukup reaktif yang dapat berikatan dengan oksigen dan non-logam lainnya, dan akan bereaksi dengan asam untuk melepaskan hidrogen (Lenntech, 2014). Karakteristik Zn dapat dilihat pada (Tabel 2.3).

Tabel 2.3 Karakteristik Seng

No	Karakteristik	Besaran
1	Nomor atom	30
2	Nomor massa	65,37 g/mol
3	Elektronegatifitas	1,6
4	Densitas	7,11 g/cm ³ pada 20°
5	Titik leleh	420 °C
6	Titik didih	907 °C
7	Energi ionisasi pertama	904,5 kJ/mol
8	Energi ioisasi kedua	1723 kJ/mol
9	Potensial standar	-0,763 V

(Sumber : Lenntech, 2014)

Tubuh yang normal membutuhkan 12-15 miligram Zn setiap hari. Kebanyakan orang dapat mendapatkan zat tersebut secara alami melalui makanan atau minuman yang dikonsumsi. Namun jika zat Zn yang masuk ke dalam tubuh berlebihan, maka dapat mengakibatkan keracunan Zn. Usus tertekan, muntah,

kram perut, diare dan mual berkepanjangan. Gejala tersebut jika tidak segera ditangani dapat menyebabkan sakit kuning, kejang, demam, dan tekanan darah rendah, bahkan kematian.

2.1.8 Kadmium (Cd)

Kadmium adalah senyawa yang berkilau, berwarna perak keputihan, dan sangat lunak. Logam ini larut pada asam, namun tidak pada basa. Sekitar 75% dari jenis kadmium digunakan dalam baterai jenis Ni-Cd dan sisanya digunakan pada pewarnaan, pelapisan, *plating*, dan sebagai bahan penstabil untuk material plastik. Kadmium seringkali digunakan sebagai bahan parsial besi elektroplat dimana lapisannya hanya setebal 0,05 mm namun dapat melindungi permukaan yang sangat luas. Kadmium memiliki kemampuan untuk menyerap neutron, sehingga dapat juga digunakan dalam pelindung pada reaksi fisi nuklir (Lenntech, 2014). Kadmium sifatnya cukup resisten terhadap asam non-oksida. Perlaku ini disebabkan karena tingginya energi aktivasi dalam melepas ion H⁺ pada permukaan logam (Rubin, 1978). Karakteristik dan sifat kimia dari kadmium dapat dilihat pada (Tabel 2.4).

Tabel 2.4 Karakteristik Kadmium

No	Karakteristik	Besaran
1	Nomor atom	48
2	Nomor massa	112,4 g/mol
3	Elektronegatifitas	1,7
4	Densitas	8,7 g/cm ³ pada 20°
5	Titik leleh	321 °C
6	Titik didih	767 °C
7	Energi ionisasi pertama	866 kJ/mol
8	Energi ioisasi kedua	1622 kJ/mol
9	Potensial standar	-0,402 V

(Sumber : Lenntech, 2014)

Secara alami, kadmium dapat ditemukan pada perut bumi, umumnya berikatan dengan unsur seng. Kadmium juga terdapat di limbah industri yang mengandung seng, tembaga, dan timbal. Setelah dibuang ke lingkungan, senyawa ini akan menyebar melalui media tanah, karena ditemukan pada pestisida.

Kadmium dilepaskan ke lingkungan sebanyak 25.000 ton tiap tahunnya. Setengah dari jumlah tersebut dilepaskan secara dari batuan, kebakaran hutan, dan gunung api, namun sisanya dihasilkan oleh aktivitas manusia, termasuk dalam proses manufaktur produk tertentu (Lenntech, 2014).

Kadmium bukan senyawa esensial di dalam tubuh manusia dan akan berakumulasi pada manusia di organ hati dan ginjal. Setelah diserap, kadmium akan dipindahkan menuju hati dan menstimulasi sintesis dari senyawa metallothioenin. Kadmium akan berikatan dengan metallothioenin dari hati dan berpindah melalui pembuluh darah menuju ginjal, yaitu sel tabung. (Hall dkk, 1997).

Pertama unsur ini akan berpengaruh pada kemampuan reabsorsi tubula proksimal pada ginjal, yang nantinya akan berdampak pada kemampuan mengkonsentrasi cairan urine; kemampuan ginjal dalam menangani kalsium, fosfor, dan glukosuria. Penyakit itai-itai yang pernah dilaporkan terjadi di Jepang disebabkan oleh konsumsi harian kadmium yang besar. Gejala yang terjadi pada penderitanya adalah sakit pada seluruh tubuh dan kesulitan berjalan. Kondisi penyakit akan terus berkembang dan patah tulang akan menjadi normal bagi penderitanya. Perubahan patologi yang akan terjadi adalah osteomalasia dan osteoporosis, khususnya pada wanita menopause dengan pola makan yang tidak benar. (Hall dkk, 1997).

2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Menurut kamus Webser, Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah yang berfungsi menampung air yang menampung air hujan, menyimpan, dan mengalirkannya ke sungai tersebut dan seterusnya mengalir ke danau atau laut (Suripin, 2004 dalam Wijayanti, 2008). DAS merupakan suatu ekosistem dimana di dalamnya terjadi suatu interaksi antara faktor-faktor non-biotik, biotik, dan manusia (Suripin, 2004 dalam Wijayanti, 2008). Sistem ekosistem tersebut mempunyai sifat tertentu, dipengaruhi oleh jumlah dan jenis komponen yang menyusunnya. Besar atau kecilnya ukuran ekosistem tergantung pada sudut pandang dan batas yang diberikan pada ekosistem tersebut. (Asdak, 2004 dalam Wijayanti, 2008)

Ekosistem suatu DAS merupakan faktor yang sangat penting karena mempunyai fungsi perlindungan terhadap DAS. Aktifitas yang ada pada hulu DAS, yang menyebabkan perubahan ekosistem, misalnya perubahan tata guna lahan, dapat memberikan dampak terhadap DAS bagian hilir. Dalam pengelolaan DAS, daerah hulu dan hilir mempunyai keterkaitan biofisika melalui daur hidrologi. Daerah aliran sungai mempunyai potensi yang besar untuk mengalami polusi atau pencemaran. Komponen utama dari DAS yang berpotensi tercemar yaitu air dan sedimen yang kemudian akan mempengaruhi kualitas lingkungan serta komponen-komponen makhluk hidup yang ada di dalam DAS maupun yang ada di sekitar DAS tersebut.

2.3 Pencemaran Badan Air

Berdasarkan fungsinya, DAS dibagi menjadi tiga golongan yaitu bagian hulu, tengah, dan hilir. DAS bagian hulu didasarkan pada fungsi konservasi yang dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi. Komponen masukan DAS adalah curah hujan, sedangkan keluarannya terdiri dari debit air dan sedimen (Direktorat Kehutanan dan Konservasi Sumber Daya Air, 2008). DAS bagian hulu mempunyai peran penting, terutama bagi penyedia air untuk dialirkan ke bagian hilir, namun bagian hulu seringkali mengalami pencemaran akibat adanya perubahan tata guna lahan, terutama aktivitas pertanian, industri, pariwisata, pertambangan, dan pemukiman. Pada prinsipnya, DAS bagian hulu dijaga dengan upaya konservasi yang mencakup aspek-aspek yang berhubungan dengan suplai air. Penangan DAS bagian hulu diarahkan pada kawasan budidaya dan pertanian, karena secara potensial proses degradasi lebih banyak terjadi pada kawasan ini. (Direktorat Kehutanan dan Konservasi Sumber Daya Air,2008)

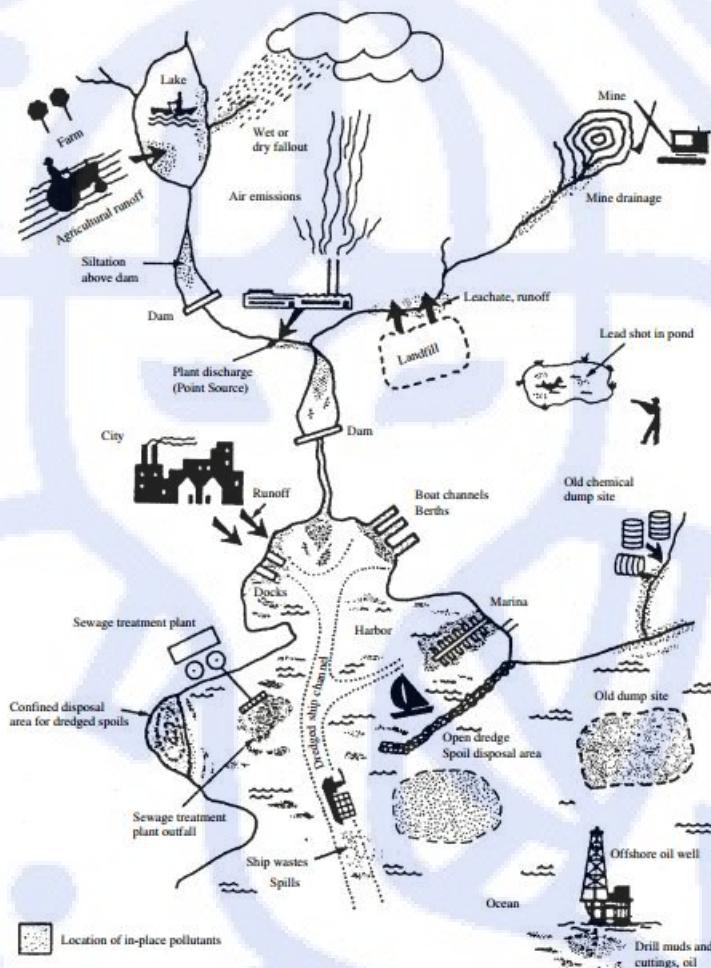
Lebih dari 100.000 senyawa kimia dilepaskan ke lingkungan setiap tahunnya melalui produksi, penggunaan, maupun pembuangan aktivitas manusia. Pencemar dapat hadir di lingkungan dalam waktu dan ruang tertentu dalam beberapa kemungkinan, diantaranya (Hodgson, 2004) :

1. Secara stasioner, hal ini dapat menambah jenis pencemar dan menambah paparannya

2. Dapat berpindah dari suatu lokasi ke lokasi lainnya
3. Berubah bentuk struktur kimianya menjadi senyawa atau unsur lain

Hal yang perlu diperhatikan adalah polutan dan titiknya saat memasuki lingkungan. polutan dapat berasal dari sektor pertanian, industri, domestik, dan sumber lainnya seperti tumpahan minyak dari kegiatan transportasi. Kecepatan angin, arah angin, kecepatan arus, kecepatan sungai, suhu, salinitas, dan kandungan sedimen dapat menjadi faktor penting dalam penyebaran pencemar pada lingkungan perairan. (Hodgson, 2004)

Sumber pencemar dapat digolongkan menjadi sumber titik dan sumber non-titik. Sumber titik lebih mudah untuk diukur dan diidentifikasi, seperti limbah industri dan domestik, tumpahan minyak atau bahan-bahan kimia. Sumber non-titik tersebar dalam suatu area yang sulit untuk diidentifikasi, contohnya seperti limpasan pestisida dari pertanian, sumber bergerah, sedimen yang terkonaminasi, limbah *tailing* area pertambangan, dan lainnya. Sumber non-titik juga berupa sumber pencemaran yang terdiri dari banyak sumber titik pada area tertentu. Pencemar tercampur sempurna pada air permukaan seperti sungai dan tergabung menjadi sumber pencemar besar bagi danau atau muara seperti yang dapat dilihat pada **(Gambar 2.1)**.



Gambar 2.2 Contoh Sumber Pencemar pada Badan Air

(Sumber: Hodgson, 2004)

Sumber pencemar dapat berupa Point Source (PS) pollutants, yakni sumber-sumber pencemar yang dapat dengan jelas dari mana titik asalnya, misalnya pencemar yang dihasilkan dari kegiatan industri dan pertambangan, dan Non-Point Source (NPS) pollutants, yakni sumber-sumber pencemar yang sulit untuk dikenali secara pasti dari mana titik pencemar berasal. Bahan pencemar yang berasal dari kegiatan pertanian digolongkan sebagai NPS. Penanggulangan pencemaran NPS relatif lebih sulit dibandingkan dengan penanggulangan pencemaran PS polutan. Penanggulangan pencemaran PS polutan dapat dilakukan dengan perbaikan prosedur pengolahan limbah yang akan dialirkan ke sungai atau badan air lainnya.

Kegiatan pertanian seringkali dijadikan contoh sebagai penghasil utama NPS karena kegiatan ini umumnya menggunakan bahan kimia yakni pupuk dan pestisida. Penggunaan agrokimia untuk budi daya pertanian dapat mencapai 30 – 50% dari total input produksi pertanian. Input pertanian tersebut berubah menjadi bahan pencemar sebagai akibat penggunaan yang berlebihan atau tingkat kehilangan yang tinggi. Pencemaran bukan hanya dapat terjadi secara insitu, yakni pada areal dimana budi daya dilakukan, namun berpeluang besar untuk menyebar ke daerah hilir. Adanya keterkaitan melalui daur hidrologi menyebabkan adanya pengaruh yang sangat besar dari daerah hulu terhadap daerah hilir. Perubahan penggunaan lahan yang dilakukan di daerah aliran sungai bagian hulu seperti aktivitas pertanian, pertambangan, industri tidak hanya akan berdampak pada sekitar tempat kegiatan berlangsung, tetapi juga akan berdampak pada daerah hilir di antaranya dalam bentuk perubahan/fluktuasi debit dan transpor sedimen serta material terlarut dalam sistem aliran air.

Dalam hubungannya dengan pencemaran, aliran air mempunyai peranan yang sangat penting karena aliran air baik dalam bentuk aliran permukaan (*surface run off*) maupun aliran bawah permukaan (*subsurface run off*) merupakan agen utama pengangkutan, pemindahan, dan penyebaran bahan-bahan pencemar. Oleh karena itu, pencemaran pada suatu agroekosistem selain ditentukan oleh jumlah bahan pencemar, juga sangat dipengaruhi oleh seberapa besar persen air yang jatuh dalam sungai yang berubah menjadi aliran permukaan dan berperan sebagai agen pembawa bahan-bahan pencemar. Tanah atau sedimen yang terbawa oleh aliran permukaan juga merupakan agen utama pembawa dan penyebar bahan-bahan pencemar pada sungai.

Sumber pencemaran logam berat dibagi menjadi dua sumber yaitu sumber alami dan sumber buatan. Sumber alami dapat berasal dari daerah pantai (*coastal supply*), yang bersumber dari sungai, abrasi pantai oleh aktifitas gelombang. Kemudian dapat juga berasal dari logam yang dibebaskan oleh aktivitas gunung berapi dan logam yang dibebaskan oleh proses kimiawi. Logam berat dari sumber buatan berasal dari proses-proses industri atau kegiatan pertambangan maupun akibat dari kegiatan manusia lainnya.

2.4 Kualitas Fisik Air

2.4.1 Temperatur

Temperatur dimasukkan sebagai salah satu parameter air karena adanya keterbatasan beberapa makhluk hidup air terhadap temperatur tertentu. Temperatur air yang tidak cocok, misalnya temperatur yang terlalu tinggi menyebabkan kematian pada beberapa organisme atau temperatur yang terlalu rendah mengakibatkan proses biologi yang sangat lambat (Manahan, 2000). Perubahan temperatur yang mendadak berpengaruh buruk pada kehidupan biota air terutama ikan. Perubahan temperatur secara tiba-tiba dapat menyebabkan ikan stress dan menimbulkan kematian. Temperatur air yang cocok untuk pertumbuhan ikan adalah berkisar antara 15°C sampai 30°C dan perbedaan temperatur antara siang dan malam kurang dari 5°C (Manahan, 2000). Sama seperti halnya air di daerah tropis, air permukaan di Indonesia pada beberapa musim tidak melebihi 3°C , yaitu dari 27°C (Desember hingga Januari) sampai 30°C (April hingga Mei) (Bailey, dkk., 1987).

Temperatur merupakan pengukuran sifat fisika yang penting karena dapat menggambarkan *specific gravity*, *specific resistivity*, dan pH dari air. Temperatur dari air harus diukur pada saat sampling secara langsung karena dapat berubah dengan cepat. Pada peningkatan suhu perairan sebesar 10°C menyebabkan peningkatan konsumsi oksigen oleh organisme akuatik sekitar 2-3 lipat. Namun, peningkatan suhu ini disertai penurunan kadar oksigen terlarut sehingga keberadaan oksigen seringkali tidak mampu memenuhi kebutuhan oksigen bagi organisme akuatik untuk melakukan proses metabolisme dan respirasi. Apabila perairan tercemar oleh logam berat, maka sifat toksisitas dari logam berat terhadap biota air akan semakin meningkat seiring meningkatnya suhu (Effendi, 2003)

2.4.2 Derajat Keasamanan (pH)

Derajat keasaman atau pH menunjukkan kadar asam atau basa dalam suatu larutan, melalui konsentrasi (aktivitas) ion hydrogen H^+ . Ion hydrogen merupakan faktor utama untuk mengerti reaksi kimiawi karena (Alaerts dan Sumestri, 1984):

- H^+ selalu ada dalam kesetimbangan dinamis dengan air, H_2O , yang membentuk suasana untuk semua reaksi kimiawi yang berkaitan dengan masalah pencemaran air, dimana sumber ion hydrogen tidak pernah habis.
- H^+ tidak hanya merupakan unsur molekul H_2O saja. Tetapi juga merupakan unsur banyak senyawa lain, hingga jumlah reaksi tanpa H^+ dapat dikatakan hanya sedikit saja.

Secara alamiah, pH dipengaruhi oleh konsentrasi karbodioksida dan senyawa yang bersifat asam (Manahan, 2000). Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan, misalnya proses nitrifikasi akan berakhir jika pH rendah. Selain itu, nilai pH juga sangat berpengaruh terhadap toksitas suatu senyawa kimia. Pada pH yang tinggi, logam akan cenderung membentuk endapan hidroksida, oksida, karbonat (Begum, dkkl, 2009).

2.4.3 Kandungan Oksigen

Oksigen terlarut adalah jumlah oksigen dalam milligram yang terdapat dalam satu liter air (ppm). Oksigen terlarut umumnya berasal dari difusi udara melalui permukaan air, aerasi, dan hasil dari proses fotosintesis biota air. Oksigen terlarut merupakan parameter penting karena merupakan indicator yang peka bagi proses-proses kimia dan biologi.

Kadar oksigen yang terlarut bervariasi tergantung pada temperatur, salinitasi, turbulensi air, dan tekanan atmosfer (Jeffries dan Millis, 1996 dalam Effendi, 2003). Temperatur sangat mempengaruhi tingkat kelarutan oksigen dalam air. Pada temperatur tinggi, oksigen yang larut sangat rendah karena molekul-molekul air mengembang. Kondisi ini tidak memberikan tempat bagi oksigen. Pada temperatur rendah, kandungan oksigen lebih tinggi karena molekul-molekul air mengerut.

Kadar oksigen terlarut juga berfluktuasi secara harian (*diurnal*) dan musiman, tergantung pada pencampuran (*mixing*) dan pergerakan (*turbulence*) massa air. Selain itu, kelarutan oksigen dan gas-gas lain berkurang dengan meningkatnya salinitas sehingga kadar oksigen di laut cenderung lebih rendah daripada kadar oksigen di perairan tawar. Peningkatan suhu sebesar $1^{\circ}C$ akan meningkatkan konsumsi oksigen sekitar 10% (Brown, 1987 dalam Effendi, 2003).

Oksigen sangat diperlukan untuk pernafasan dan metabolism ikan dan jasad-jasad renik dalam air. Kandungan oksigen yang tidak mencukupi kebutuhan ikan dan biota lainnya dapat menyebabkan penurunan daya hidup ikan. Konsentrasi oksigen yang rendah dapat menimbulkan anorexia, stress, dan kematian pada ikan. Menurut Boyd (1982) dalam Aria (2009), bila dalam suatu kolam kandungan oksigen terlarut sama dengan atau lebih besar dari 5 mg/1, maka proses reproduksi dan pertumbuhan ikan akan berjalan dengan baik.

2.2.4 Padatan terlarut (Total Dissolved Solids)

Zat padat merupakan materi residu setelah pemanasan dan pengeringan pada suhu $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$. Residu atau zat padat yang tertinggal selama proses pemanasan pada temperatur tersebut adalah materi yang ada dalam contoh air dan tidak hilang atau menguap pada 105°C . Dimensi zat padat dinyatakan dalam mg/l atau g/l, % berat (kg zat padat/kg larutan), atau % volume (dm^3 zat padat/liter larutan).

Dalam air alam, ditemui dua kelompok zat yaitu zat terlarut (seperti garam dan molekul organik) serta zat padat tersuspensi dan koloidal (seperti tanah liat dan kwarts). Perbedaan pokok antara kedua kelompok zat ini ditentukan melalui ukuran/diameter partikel-partikelnnya.

Analisa zat padat dalam air digunakan untuk menentukan komponen-komponen air secara lengkap, proses perencanaan, serta pengawasan terhadap proses pengolahan air minum maupun air buangan. Karena bervariasiya materi organik dan anorganik dalam analisa zat padat, tes yang dilakukan secara empiris tergantung pada karakteristik materi tersebut. Metode Gravimetry digunakan hampir pada semua kasus.

Jumlah dan sumber materi terlarut dan tidak terlarut yang terdapat dalam air sangat bervariasi. Pada air minum, kebanyakan merupakan materi terlarut yang terdiri dari garam anorganik, sedikit materi organik, dan gas terlarut. Total zat padat terlarut dalam air minum berada pada kisaran $20 - 1000 \text{ mg/L}$.

Padatan terlarut total (Total Dissolved Solid atau TDS) merupakan bahan-bahan terlarut (diameter $< 10-6 \text{ mm}$) dan koloid (diameter $10-6 \text{ mm} - 10-3 \text{ mm}$) yang berupa senyawa-senyawa kimia dan bahan-bahan lain, yang tidak

tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45 μm (Rao, 1992 dalam Effendi, 2003). Materi ini merupakan residu zat padat setelah penguapan pada suhu 105 $^{\circ}\text{C}$. TDS terdapat di dalam air sebagai hasil reaksi dari zat padat, cair, dan gas di dalam air yang dapat berupa senyawa organik maupun anorganik. Substansi anorganik berasal dari mineral, logam, dan gas yang terbawa masuk ke dalam air setelah kontak dengan materi pada permukaan dan tanah. Materi organik dapat berasal dari hasil penguraian vegetasi, senyawa organik, dan gas-gas anorganik yang terlarut. TDS biasanya disebabkan oleh bahan anorganik berupa ion-ion yang terdapat di perairan.

TDS tidak diinginkan dalam badan air karena dapat menimbulkan warna, rasa, dan bau yang tidak sedap. Beberapa senyawa kimia pembentuk TDS bersifat racun dan merupakan senyawa organik bersifat karsinogenik. Akan tetapi, beberapa zat dapat memberi rasa segar pada air minum.

Kesadahan dan kekeruhan akan bertambah seiring dengan semakin banyaknya TDS. Analisis TDS biasanya dilakukan dengan penentuan Konduktivitas air. TDS terdiri dari ion-ion sehingga kadar TDS sebanding dengan kadar DHL air. Penentuan jumlah materi terlarut dan tidak terlarut juga dapat dilakukan dengan membandingkan jumlah yang terfiltrasi dengan yang tidak.

2.4.5 Daya Hantar Listrik (Konduktivitas)

Daya hantar listrik (DHL) merupakan kemampuan suatu cairan untuk menghantarkan arus listrik (disebut juga konduktivitas). DHL pada air merupakan ekspresi numerik yang menunjukkan kemampuan suatu larutan untuk menghantarkan arus listrik. Oleh karena itu, semakin banyak garam-garam terlarut yang dapat terionisasi, semakin tinggi pula nilai DHL. Besarnya nilai DHL bergantung kepada kehadiran ion-ion anorganik, valensi, suhu, serta konsentrasi total maupun relatifnya.

Pengukuran daya hantar listrik bertujuan mengukur kemampuan ion-ion dalam air untuk menghantarkan listrik serta memprediksi kandungan mineral dalam air. Pengukuran yang dilakukan berdasarkan kemampuan kation dan anion untuk menghantarkan arus listrik yang dialirkan dalam contoh air dapat dijadikan indikator, dimana semakin besar nilai daya hantar listrik yang ditunjukkan pada

konduktivitimeter berarti semakin besar kemampuan kation dan anion yang terdapat dalam contoh air untuk menghantarkan arus listrik. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin banyak mineral yang terkandung dalam air.

Konduktivitas dinyatakan dengan satuan $\mu\text{hos}/\text{cm}$ atau $\mu\text{Siemens}/\text{cm}$. Dalam analisa air, satuan yang biasa digunakan adalah $\mu\text{hos}/\text{cm}$. Air suling (aquades) memiliki nilai DHL sekitar $1 \mu\text{hos}/\text{cm}$, sedangkan perairan alami sekitar $20 - 1500 \mu\text{hos}/\text{cm}$. Besarnya daya hantar listrik bergantung pada kandungan ion anorganik (TDS) yang disebut juga materi tersuspensi. (Boyd, 1988 dalam Effendi, 2003).

2.5 Pencemaran pada Sedimen

Logam berat yang masuk ke lingkungan perairan mengalami pengendapan, pengenceran, dan dispersi. Kemudian logam akan diserap oleh organisme-organisme yang hidup pada perairan tersebut. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik, mengendap di dasar perairan, dan bersatu dengan sedimen, sehingga kadar logam berat yang ada di sedimen akan lebih tinggi dibandingkan di dalam air. (Septiono, 2014)

Konsentrasi logam total pada sedimen dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk karakteristik fisik dan hidrologi, kehadiran *benthos*, kondisi atmosfer, produktivitas, pH, tekstur sedimen atau tanah, potensial redoks, dan kapasitas pergantian ion terhadap daerah di sekitarnya. Kuantitas logam berat yang tertahan pada sedimen juga dipengaruhi oleh karakteristik dari sedimen yang menyerap logam tersebut. Ukuran butiran tanah, koefisien partisi (K_d), kemampuan penggantian kation, kandungan zat organik, dan kandungan zat mineral mempengaruhi penyerapan logam berat pada lingkungan perairan. (Greany, 2005)

Koefisien distribusi atau koefisien partisi adalah perbandingan konsentrasi kesetimbangan zat dalam dua pelarut yang berbeda yang tidak bercampur. K_d merupakan rasio konsentrasi elemen pada fase padat (tanah atau sedimen) dibagi dengan konsentrasi kesetimbangan dalam fase cair (air). Nilai K_d sangat tergantung pada faktor lingkungan, namun tidak terbatas pada pH, kondisi redoks, distribusi ukuran partikel, kandungan bahan organik, aktivitas biologis dan suhu.

Logam yang terlarut dalam air adalah fraksi logam berat yang paling mudah untuk terserap oleh tanaman. Fraksi logam yang dapat tertukar adalah

fraksi yang lebih cenderung terikat pada permukaan tanah atau sedimen akibat proses pertukaran kation. Fraksi logam dalam bentuk ini biasanya berikatan sangat lemah dan dapat terlepas dari bentuk terlarut. Fraksi logam terlarut dan fraksi logam yang mudah bertukar ion ini akan mudah termobilisasi. Ketika terjadi perubahan kondisi oksidasi pada sedimen, maka transformasi logam secara struktur kimia, yaitu terlarut dan tidak terlarut, akan terjadi. (Greany, 2005)

Wilayah yang jarang terkena aliran dan mengalami sirkulasi air yang baik akan membentuk kondisi anaerobik dan cenderung membentuk sulfida logam. Hal ini terjadi karena adanya bakteri pereduksi sulfat yang membentuk nilai pH tinggi pada sedimen di bawah permukaan. Presipitasi logam pada area kontak sedimen dan air dipengaruhi oleh kondisi pH yang tinggi dan berkontribusi dalam proses retensi logam sebagai sulfida logam. (Greany, 2005)

2.6 Kontaminasi pada Ikan

Ikan adalah predator utama pada ekosistem perairan. Ikan juga memegang peranan penting dalam pertumbuhan dan jumlah tingkatan konsumen berikutnya. Komunitas ikan dapat digunakan untuk mengindikasi perubahan jangka panjang maupun efek perubahan rentang lebar pada lingkungan perairan karena ikan hidup cukup lama dengan mobilitas yang tinggi. Ikan penting dalam ilmu pengkajian kontaminan di ekosistem karena mempresentasikan puncak dari tingkatan trofis pada rantai makanan yang rentan terhadap bioakumulasi dan biomagnifikasi logam berat dan senyawa organik sintetis. Ikan juga cenderung lebih mudah untuk ditangkap dan diidentifikasi spesiesnya. Dalam beberapa metode pengkajian kondisi lingkungan, dapat pula dilakukan *non-destructive sampling*, dimana ikan dapat kembali dilepaskan setelah didapatkan seluruh data yang dibutuhkan. Sampling ini dapat dilakukan ketika jaringan ikan serta organnya tidak dibutuhkan untuk analisis (UNEP GEMS Water Programme, 2008).

Pada area lingkungan yang terkontaminasi, survey pada tanaman dan hewan pun dilakukan untuk pemeriksaan. Survey dapat dilakukan dengan menghitung jumlah hewan yang mati dan frekuensi kejadiannya. Organ tubuh dan bagian jaringan pada hewan diambil untuk dilakukan analisis kontaminasi dan diperkirakan area kontaminasi yang sudah terjadi (Hodgson, 2004).

Terkontaminasinya ikan oleh suatu senyawa bervariasi tergantung pada tingkat paparan dan kemampuan jaringan masing-masing ikan dalam merespon suatu senyawa. Pada kasus unsur kadmium (Cd), ikan air tawar lebih rentan terhadap paparan kadmium dibandingkan ikan air laut. Ketika ikan air tawar terkena paparan kadmium, maka keunikan perilaku dan pola makan dari suatu spesies akan terjadi sebagai respon tubuh, serta dapat berakibat kematian. Hubungan antara ikan dan sedimen memberikan peran penting dalam akumulasi kadmium (Sorensen, 1991). Sebagai contoh, paparan kadmium ditemukan lebih tinggi pada ikan yang bergerak di dasar sungai (*benthic/bottom dwelling*) jika dibandingkan dengan ikan yang berenang bebas (*pelagic/free-swimming*) (Ney dan Van Hassel, 1983 dalam Septiono, 2014).

Sifat toksik unsur kadmium sudah dibuktikan sangat beracun pada ikan, bahkan LC₅₀ untuk ikan bervariasi hanya pada nilai 2 ppm – 55 ppm selama 96 jam. Namun perubahan pada kualitas air seperti salinitas, kesadahan, pH, alkalinitas, temperatur, fraksi organik, dan perbedaan spesies akan mempengaruhi dampak dari toksisitas kadmium. Semakin tinggi alkalinitas dan kesadahan air, maka kemampuan hidup ikan dalam paparan kadmium akan semakin tinggi, sedangkan temperatur air yang lebih tinggi akan menurunkan kelangsungan hidup ikan dalam paparan kadmium (Sorensen, 1991).

Untuk tembaga (Cu), kondisi paling toksik terjadi pada pH 9. Hal ini terjadi karena CO₂ yang diekskresikan oleh insang akan menurunkan nilai pH pada area sekitar yang kemudian mengionisasi hidroksida dan melepaskan Cu²⁺. Secara umum, semakin besar angka kesadahan, alkalinitas, salinitas, tingkat organik, pH, dan ukuran tubuh ikan, maka kemampuan resisten ikan akan semakin tinggi terhadap unsur tembaga (Sorensen, 1991).

Pada sistem air sungai, adsorpsi senyawa logam pada sedimen dan permukaan partikel tersuspensi menunjukkan terjadinya proses biogeokimia yang memindahkan logam dari air ke sedimen. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa senyawa organik dapat berperan sebagai pengontrol perpindahan kontaminan organik dan anorganik. Kontaminan terserap ke partikel di air melalui adsorpsi fisika-kimia dan *uptake* biologi. Akibat gravitasi, gabungan kontaminan

partikel turun ke dasar sungai dan memebentuk lapisan sedimen (Paulson, 1997 dalam Septiono, 2014).

2.7 Bioakumulasi Logam Berat

Paparan logam pada suatu agen, kepada reseptor dapat terjadi melalui beberapa *portal of entry* diantaranya oral, inhalasi, dermal, mata, luka, dan lain-lain. Suatu senyawa dari lingkungan udara, air, tanah, dan lingkunagn lainnya dapat masuk ke dalam tubuh suatu organisme, termasuk manusia. Apabila senyawa tersebut tidak dapat diuraikan maka akan terjadi biomagnifikasi atau bioakumulasi (Soemirat, 2007).

Bioakmulusi didefinisikan sebagai proses dimana makhluk hidup mengakumulasi suatu zat kimia tertentu, baik dari lingkungan (seperti air, udara, dan tanah) maupun dari sumber makanan (melalui rantai makanan dan tingkatan trofis). Senyawa kimiawi dari lingkungan diserap oleh makhluk hidup sebagian besar melalui difusi pasif, terutama melalui membran pada paru-paru, insang, dan saluran pencernaan. Meskipun kulit dan struktur pendukung seperti bulu, rambut, atau sisik sebagai pelindung gangguan luar, sebagian tetap akan menyerap senyawa kimia (Hodgson, 2004).

Pada (**Gambar 2.2**) ditunjukkan bahwa fenomena bioakumulasi dan perpindahan konsentrasi logam dapat terjadi lewat rantai makanan. Dalam sebuah diagram alir yang disederhanakan ini, jumlah suatu senyawa kimia dalam air sudah mencapai konsentrasi satu satuan dan diasumsikan akan terakumulasi baik dari air ke ikan maupun dari suatu tingkatan trofis ke tingkatan trofis yang lebih tinggi. Angka yang sudah diberi tanda lingkaran merepresentasikan konsentrasi senyawa pada sebuah media, dalam hal ini air, tubuh ikan, maupun tubuh burung. Angka disebelah tanda panah merupakan senyawa yang ditransfer dari suatu media ke media lain (Hodgson, 2004). Pola makan dan posisi sebuah spesies dalam tingkatan trofis juga mempengaruhi papara logam. Semakin tinggi suatu spesies dalam tingkatan trofis, semakin meningkat pula paparan akibat akumulasi (Sorensen, 1991).



Gambar 2.3 Biomagnifikasi dalam Rantai Makanan

(Sumber: Hodgson, 2004)

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi bioakumulasi, diantaranya (Hodgson, 2004):

a. Sifat persisten di lingkungan

Kontaminan yang mudah dieliminasi dari lingkungan secara umum tidak akan terbioakumulasi. Dapat dikatakan bahwa kemudahan suatu senyawa untuk terbioakumulasi bisa dilihat secara kasara dari jumlah konsentrasinya di lingkungan.

b. Sifat lipofilik dari senyawa

Sifat yang paling menentukan sifat bioakumulasi sebuah senyawa adalah sifat lipofiliknya. Semakin lipofilik suatu senyawa maka akan mengakibatkan konsentrasi yang lebih tinggi pada tingkatan trofis berikutnya pada rantai makanan, yang disebut biomagnifikasi. Sebagai contoh, pada **(Gambar 2.3)** ditunjukkan bahwa beberapa senyawa terbioakumulasi sampai angka derajat 2. Baik dari air maupun makanan, kecendrungan senyawa untuk meningkat pada tiap tingkatan tropis akan berujung pada tingginya konsentrasi senyawa pada burung atau organisme lain yang tingkat trofisnya lebih tinggi.

Bioakumulasi dapat menyebabkan penundaan munculnya sifat toksitas, karena senyawa dapat terserap dan disimpan dalam cadangan lemak. Efeknya akan muncul ketika cadangan lemak digunakan oleh organ tertentu dalam tubuh. Hal ini dapat juga terjadi pada sistem reproduksi. Ketika cadangan lemak digunakan untuk kebutuhan reproduksi, maka bersamaan dengan itu senyawa lipofilik akan bereaksi. Sebagai reaksinya, tubuh akan menunjukkan dampak terhadap sifat toksiknya, pada kasus ini yang dapat terjadi adalah kematian atau kecacatan pada keturunan. Senyawa lipofilik juga memiliki kecendrungan besar untuk terikat pada sedimen, menyebabkan kurangnya kecendrungan untuk terbioakumulasi.

c. Biotransformasi senyawa

Setelah terserap oleh makhluk hidup, kontaminan akan mempengaruhi proses bioakumulasi. Hal ini terjadi karena beberapa struktur kimia kontaminan akan berubah seiring dengan terjadinya metabolisme pada makhluk hidup. Biotransformasi kimia ini biasanya terpusat pada media yang kaya akan kandungan lemak. Senyawa kimia yang mudah berubah strukturnya lebih cenderung tidak terbioakumulasi. Kecepatan degradasi suatu senyawa pada setiap spesies pun akan berbeda. Hal tersebut juga akan mempengaruhi bioakumulasi.

2.8 Limbah Industri Tekstil

Limbah tekstil merupakan limbah cair dominan yang dihasilkan industri tekstil karena terjadi proses pemberian warna (dyeing) yang di samping memerlukan bahan kimia juga memerlukan air sebagai media pelarut. Industri tekstil merupakan suatu industri yang bergerak dibidang garmen dengan mengolah kapas atau serat sintetik menjadi kain melalui tahapan proses : Spinning (Pemintalan) dan Weaving (Penenunan). Limbah industri tekstil tergolong limbah cair dari proses pewarnaan yang merupakan senyawa kimia sintetis, mempunyai kekuatan pencemar yang kuat. Bahan pewarna tersebut telah terbukti mampu mencemari lingkungan. Zat warna tekstil merupakan semua zat warna yang mempunyai kemampuan untuk diserap oleh serat tekstil dan mudah dihilangkan

warna (kromofor) dan gugus yang dapat mengadakan ikatan dengan serat tekstil (auksokrom).

Zat warna tekstil merupakan gabungan dari senyawa organik tidak jenuh, kromofor dan auksokrom sebagai pengaktif kerja kromofor dan pengikat antara warna dengan serat. Limbah air yang bersumber dari pabrik yang biasanya banyak menggunakan air dalam proses produksinya. Di samping itu ada pula bahan baku yang mengandung air sehingga dalam proses pengolahannya air tersebut harus dibuang.

Lingkungan yang tercemar akan mengganggu kelangsungan hidup makhluk hidup disekitarnya baik secara langsung maupun tidak langsung. Dalam kegiatan industri, air yang telah digunakan (air limbah industri) tidak boleh langsung dibuang ke lingkungan, tetapi air limbah industri harus mengalami proses pengolahan sehingga dapat digunakan lagi atau dibuang ke lingkungan tanpa menyebabkan pencemaran. Proses pengolahan air limbah industri adalah salah satu syarat yang harus dimiliki oleh industri yang berwawasan lingkungan.

Larutan penghilang kanji biasanya langsung dibuang dan ini mengandung zat kimia pengkanji dan penghilang kanji pati, PVA, CMC, enzim, asam. Penghilangan kanji biasanya memberikan BOD paling banyak dibanding dengan proses-proses lain. Pemasakan dan merserissasi kapas serta pemucatan semua kain adalah sumber limbah cair yang penting, yang menghasilkan asam, basa, COD, BOD, padatan tersuspensi dan zat-zat kimia. Proses-proses ini menghasilkan limbah cair dengan volume besar, pH yang sangat bervariasi dan beban pencemaran yang tergantung pada proses dan zat kimia yang digunakan. Pewarnaan dan pembilasan menghasilkan air limbah yang berwarna dengan COD tinggi dan bahan-bahan lain dari zat warna yang dipakai, seperti fenol dan logam.

Pencemaran lingkungan akibat industri tekstil berupa pencemaran debu yang dihasilkan dari penggunaan mesin berkecepatan tinggi dan limbah cair yang berasal dari tumpahan dan air cucian tempat pencelupan larutan kanji dan proses pewarnaan. Zat warna tekstil merupakan gabungan dari senyawa organic tidak jenuh, kromofor, dan auksokrom sebagai pengaktif kerja kromofor dan pengikat antara warna dengan serat. Kandungan limbah yang dihasilkan dari proses pewarnaan tergantung pada pewarna yang digunakan. Limbah-limbah yang

dihadarkan suatu industri, akan dialirkan ke kolam-kolam penampungan dan selanjutnya dibuang ke sungai. Limbah tekstil merupakan limbah yang dihasilkan dalam proses pengkanjian, penghilangan kanji, penggelantangan, pemasakan, merserisasi, pewarnaan, pencetakan dan proses penyempurnaan. Jenis-jenis limbah yang dihasilkan antara lain yaitu logam berat terutama As, Cd, Cr, Pb, Cu, Zn, hidrokarbon terhalogenasi (dari proses *dressing* dan *finishing*), pigmen, zat warna dan pelarut organik.

Logam dihasilkan dari beberapa sumber dalam proses tekstil, pada umumnya berasal dari:

- benang
- suplai air bersih
- bahan kimia (agen) oksidasi dan pereduksi, elektrolit, asam, dan basa
- pewarna dan pigmen
- beberapa proses penyelesaian
- herbisida dan pestisida,
- bahan kimia perawatan (maintenance)

a. Benang Tekstil

Logam terdapat dalam benang alami, misalnya kapas yang berasal dari absorpsi dari lingkungan selama masa pertumbuhannya. Penelitian Smith (1988) menunjukkan bahwa kandungan logam dalam benang kapas adalah sebesar 75 hingga 100 ppm. Hal ini berarti dapat diperkirakan sumber tersebut berkontribusi hingga 10 ppm dari total logam yang terdapat dalam effluent. Selain itu, kontaminasi logam dapat terjadi dari peralatan mesin. Katalis dari polimerisasi dan sumber lain dapat berkontribusi dari benang/fiber sintetis.

b. Suplai Air Bersih

Pada umumnya, konsentrasi logam berat dalam suplai air bersih tidak berada pada nilai yang signifikan (>1 ppm), misalnya logam tembaga, besi, dan seng. Tembaga seringkali ditambahkan dalam sistem distribusi air minum untuk mencegah pertumbuhan alga dalam tangki dan kolam. Aluminum, dalam bentuk

alum, juga merupakan logam yang sengaja ditambahkan ke dalam suplai air minum. Logam-logam ini dapat mengakibatkan pertukaran ion (ion exchange) dengan sistem plumbing (terutama sambungan timbal (lead joints), valve, dan pompa, yang memproduksi logam atau logam elektro negatif dalam effluent pabrik.

c. Bahan Kimia Oksidasi dan Reduksi

Hingga tahun 1960, dikromat digunakan sebagai bahan pengoksidasi pewarna vat (vat dyes). Hal ini tentu saja berdampak pada tingginya kandungan kromium dalam effluent. Penggunaan lain kromium sebagai agen pengoksidasi adalah sebagai larutan pembersih di laboratorium. Larutan ini memiliki karakteristik sebagai pengoksidasi yang kuat sehingga menjadi larutan yang berguna pada lab, tetapi penggunanannya dapat menimbulkan beberapa permasalahan, misalnya:

Kromium tidak terbilas dari peralatan laboratorium sehingga dapat membahayakan pekerjaan mikrobiologis. Kromium bersifat toksik dalam lingkungan perairan. Untuk menghindari masalah ini, dapat digunakan bahan substitusi larutan non-dikromat sehingga dapat menimbulkan limbah non-toksik. Beberapa agen lain yang mengandung logam misalnya agen pereduksi, yaitu zinc stabilized sulfoxylate. Bahan ini dapat diganti dengan Sodium Hydrosulfite.

d. Logam dalam Proses Penyelesaian (Finishing Process)

Terdapat beberapa bahan kimia organo-metalik pada proses penyelesaian, seperti water repellent, pencegah api (flame retardant), anti-jamur, dan anti-bau. Bahan ini dapat mengandung antimony, tin dan seng. Untuk mereduksi sumber logam ini terhadap aliran air limbah, sebaiknya menyimpan bahan-bahan sisa untuk kemudian digunakan kembali, atau dibuang secara terpisah dan tidak dicampur dengan limbah proses yang rutin.

e. Pewarna (*Dyes*)

Beberapa pewarna dapat mengandung tembaga atau logam lain sebagai bagian terintegrasi dari molekul pewarna. Pada umumnya, pada Color Index

diindikasikan bahwa pewarna yang mengandung logam adalah biru atau hijau. Berikut kandungan logam dari beberapa pewarna (**Tabel 2.5**)

Tabel 2.5. Kandungan Logam Dalam Beberapa Pewarna

Logam	Konsentrasi dalam Kelas Pewarna/Dyes (ppm)					
	Asam	Basa	Langsung	Disperse	Fiber Reactive	Vat
Arsenic	<1	<1	<1	<1	1,4	<1
Cadmium	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Chromium	9	2,5	3,0	3,0	24	83
Cobalt	3,2	<1	<1	<1	<1	<1
Tembaga	79	33	35	45	71	110
Timbal	37	8	28	37	52	6
Merkuri	<1	0,5	0,5	<1	0,5	1,0
Seng	<13	32	8	3	4	4

f. Bahan Kimia untuk Perawatan (*maintenance*)

Bahan kimia untuk perawatan seringkali merupakan sumber limbah toksik. Pada umumnya, industri tekstil telah memiliki prosedur yang telah disetujui dan kontrol kualitas (*quality control*) untuk bahan baku yang digunakan dalam proses produksi, tetapi terkadang bahan kimia untuk perawatan tidak melalui prosedur ini karena tidak secara langsung mempengaruhi biaya langsung dan kontrol kualitas. Selain itu juga, bahan tersebut tidak digunakan secara rutin seperti bahan kimia proses. Namun demikian, sebaiknya pengontrolan dan evaluasi dari material ini tidak boleh diabaikan. Bahan kimia ini biasanya mengandung logam, asam, klor, perchloroethylene, dan materi toksik lainnya. Bahan kimia lain yang juga merupakan sumber logam (dan toksitas) dari limbah cair adalah biosida dan herbisida. Biosida digunakan secara rutin untuk perawatan menara pendingin (*cooling tower*) dan pemurnian air. Biosida juga digunakan untuk beberapa aplikasi, misalnya proses penyelesaian (*finishing*) kaus kaki,

tenda, tenda rumah, dan kain terpal. Sedangkan, herbisida digunakan untuk mengontrol rumput, rumput liar, dan tumbuhan lainnya di sekitar tangki penyimpanan, misalnya tangki gas, bahan bakar, dan varsol.

Sumber logam lain yang dapat terjadi adalah *photographic processing* yang biasa digunakan untuk mencetak screen atau operasi lainnya. Proses ini biasanya merupakan sumber logam perak yang cukup signifikan, tetapi logam tersebut dapat didaur ulang kembali dari limbah photo processing tersebut untuk mengurangi sumber pencemaran dan keuntungan ekonomi.

2.9 Limbah Industri Electroplating

Selain industri tekstil, industri lainnya yang limbahnya mengandung logam berat adalah industri elektroplating. Industri elektroplating ini merupakan industri pelapisan logam dengan bantuan arus listrik. Proses pelapisan logam terdiri atas pencucian, pembersihan, pelapisan, pembilasan, dan pengeringan. Air yang digunakan untuk proses pencucian logam, pembersihan, dan pembilasan mengandung logam berat seperti Cu, Zn, Cr, Cd, Ni, dan Pb. Limbah elektroplating sebagian besar belum dimanfaatkan dan langsung dibuang. Kandungan logam berat pada limbah elektroplating sangat berbahaya jika tercemar ke badan air karena dapat mengganggu kesehatan manusia. Salah satu logam berat yang dihasilkan oleh industri elektroplating adalah seng (Zn). Seng merupakan zat yang penting untuk kehidupan sebagai mikronutrien, tetapi jika terlalu banyak akan menjadi racun bagi manusia. Kadar dosis Zn yang berlebihan menyebabkan depresi, kelesuan, penyakit syaraf seperti serangan jantung dan ataxia.

2.10 Toksikologi

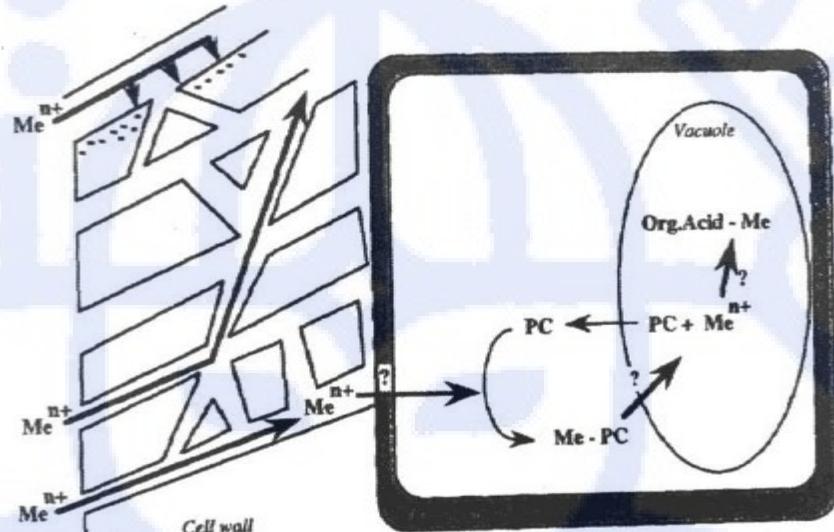
Secara umum, terdapat dua jalur paparan utama yang dapat terjadi pada organisme, yaitu perpindahan melalui membran biologis atau tubuh yang terpapar pada kontaminan terlarut pada air maupun sedimen dan proses menelan yang terjadi pada partikel sedimen yang terkontaminasi. Paparan terhadap kontaminan terlarut pada air dan sedimen merupakan jalur paparan yang dominan terjadi pada

organisme benthos (US.EPA, 2000). Berdasarkan penelitian lain, yaitu yang dilakukan oleh Gale, dkk (2002), membuktikan bahwa terdapat korelasi positif antara kontaminasi logam pada jaringan dan tubuh organisme akuatik dengan kontaminasi yang terjadi pada sedimen, walaupun belum tentu terjadi biomagnifikasi pada tingkatan tropis diatasnya.

Jalur pertama adalah perpindahan melalui membran biologis yang terpapar pada kontaminan terlarut. Perpindahan logam dapat terjadi dari air ke tanaman melalui *uptake* biologi yang dilakukan untuk kebutuhan metabolisme tumbuhan. Perpindahan logam dan mineral dapat terjadi pada permukaan akar dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- a. Difusi unsur atau senyawa pada sepanjang gradien konsentrasi yang terbentuk dari penyerapan oleh tumbuhan. Hal ini pun menyebabkan penurunan senyawa tersebut pada area sekitar akar, dimana logam sebelumnya berada
- b. Bidang kontak akar, dimana volume tanah atau sedimen yang akan berpindah akibat pertumbuhan dari tanaman dan akar.
- c. Aliran massa, yaitu perpindahan gradien potensial pada air dari kelarutannya dalam tanah.

Pada proses penyerapannya oleh tanaman, logam akan dipindahkan ke jaringan *apoplast* pada akar. Kemudian sejumlah logam akan ditransportasikan ke dalam sel-sel tubuh, sebagian akan dipindahkan ke bagian dalam jaringan *apoplast*, dan beberapa akan berikatan dengan dinding sel. Skema sederhana dari proses ini ditunjukkan pada (**Gambar 2.9**) (Prasad, 2004).



Gambar 2.5 Skema *Uptake* Logam ke dalam Akar Tumbuhan

(Sumber: Prasad, 2004)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jepkoech, dkk (2013) terdapat konsentrasi logam tembaga, seng, dan timbal pada tumbuhan yang tumbuh pada tanah yang mengandung logam-logam tersebut. Kandungan logam yang terdapat pada tumbuhan ditunjukkan dengan angka *bioconcentration factor* (BCF) yang berbeda pada sampel tanaman *Polygonum pulchrum*. *Bioconcentration factor* merupakan angka perbandingan antara konsentrasi logam pada sampel terhadap konsentrasi logam dalam air. Pengaruh sifat kelarutan pada air mempengaruhi perpindahan logam dari tanah hingga diserap oleh akar tanaman. Logam yang ditemukan dalam penelitian yang dimaksud juga terbukti terakumulasi melalui rantai makanan pada daerah tersebut.

Beberapa penelitian juga telah membuktikan perbedaan *uptake* logam yang terjadi pada tumbuhan terhadap logam tertentu. Seperti pada penelitian Sudaryono (2007) yang membuktikan bahwa penurunan kandungan logam berat dalam tanah berkorelasi positif terhadap kandungan logam pada hasil produksi pertanian/perkebunan, jaringan tanaman, maupun biji kacang tanah. Penggunaan pupuk organik pada kegiatan produksi tanaman kacang-kacangan, misalnya pupuk kandang dan pupuk kompos, dapat mempengaruhi *uptake* logam yang terjadi. Penggunaan pupuk organik dapat menurunkan kandungan logam berat pada tumbuhan yang ditanam pada lahan yang tercemar logam berat.

Selain tanaman kacang-kacangan, penelitian lain oleh Kribek, dkk (2014) membuktikan terjadinya *uptake* logam pada tanaman singkong (*Manihot esculenta*) pada tanah yang telah terkontaminasi. Ditemukan konsentrasi logam berat yang terdistribusi pada organ-organ tanaman singkong, dimana lebih banyak terdapat di bagian daun dibandingkan batang. Pada penelitian ini juga disebutkan bahwa terdapat beberapa tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi potensi bahaya akibat konsumsi singkong, seperti misalnya pencucian bagian daun yang dilakukan dengan benar.

Pada sistem air sungai, adsorpsi senyawa logam pada sedimen dan permukaan partikel tersuspensi menunjukkan terjadinya proses biogeokimia yang memindahkan logam dari air ke sedimen. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa senyawa organik dapat berperan sebagai pengontrol perpindahan kontaminan anorganik dan organik. Kontaminan terserap ke partikel di kolom air melalui adsorpsi fisik-kimia dan *uptake* biologi. Akibat gravitasi, gabungan kontaminan partikel turun ke dasar sungai dan membentuk lapisan sedimen (Paulson, 1997 dalam Maramis dkk, 2006).