

Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan

Festri Istarani dan Ellina S. Pandebesie

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: Ellina@its.ac.id

Abstrak—Arsen memiliki berbagai macam warna sesuai dengan bentuknya, yakni arsen trioksida (As_2O_3) berwarna putih, dan berwarna abu-abu namun jarang ditemukan bentuk seperti ini. Kadmium merupakan salah satu logam berat yang berwarna putih perak. Kadmium sering dipakai pada industri pelapisan logam, dan merupakan hasil akhir dalam industri pengolahan biji logam. Kadmium mempunyai efek buruk terhadap lingkungan dan manusia, karena dapat mengakibatkan kanker payudara, gangguan pernafasan, gagal ginjal serta kematian. Kasus yang terjadi di dunia, yaitu kasus pencemaran arsen di Bangladesh pencemaran kadmium yakni *itai-itai disease* yang terjadi di Jepang. Peraturan dan perundang-undangan telah banyak mengatur mengenai pencegahan hingga penanganan logam berat oleh industri, yakni PP no. 18 tahun 1999 *juncto* PP no. 85 tahun 1999 tentang Limbah B3, serta PP No. 74 tahun 2001 tentang bahan berbahaya dan beracun turut mengatur limbah yang dapat merusak lingkungan tersebut. Berbagai dampak di atas yang mendasari adanya penulisan literatur ini. Penulisan ini dibuat dengan berdasar atas berbagai jurnal-jurnal, artikel baik nasional mau pun internasional yang berkaitan dengan logam berat arsen dan kadmium. Sehingga masyarakat mampu mengenali jenis logam berat serta dampak yang akan ditimbulkan terhadap lingkungan dan dirinya sendiri. Pada akhirnya, masyarakat dapat mengelola keberadaan limbah dengan baik dan menjaga lingkungan dari dampak yang tidak diinginkan.

Kata Kunci—Arsen, Kadmium, Limbah B3.

I. PENDAHULUAN

MANUSIA bukan hanya menderita sakit karena menghirup udara yang tercemar, tetapi juga mengasup makanan yang tercemar logam berat. Sumbernya berasal dari sayuran dan buah-buahan yang ditanam di area tercemar atau mengkonsumsi daging dari ternak yang makan rumput yang sudah mengandung logam berat yang sangat berbahaya bagi kesehatan (Ali, 2012)

Menurut National Institute for Occupational Safety and Health (1975), arsen inorganik bertanggung jawab terhadap berbagai gangguan kesehatan kronis, terutama kanker. Arsen juga dapat merusak ginjal dan bersifat racun yang sangat kuat (Ali, 2012).

Kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium, tahan panas, tahan terhadap korosi. Kadmium (Cd) digunakan untuk elektrolisis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel, dan plastik. Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah, Kadmium berpengaruh terhadap manusia

dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal (Palar, 2004).

Berdasarkan tingkat bahaya yang sudah dijabarkan di atas, penting untuk dipahami darimana sumber terbentuknya, jenis industri apa saja yang menghasilkan limbah mengandung arsen dan kadmium, bagaimana proses terpaparnya ke lingkungan, apa saja dampak yang akan ditimbulkan serta bagaimana upaya untuk mengatasinya. Dari berbagai macam sumber, baik literatur, jurnal-jurnal, mau pun artikel di media cetak dan elektronik inilah tercipta ulasan tentang dampak yang ditimbulkan oleh logam berat As dan Cd. Masyarakat diharapkan mampu menjadikan informasi ini sebagai pedoman menjaga kualitas lingkungan di masa yang akan datang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Arsen dan kadmium memang ditemukan dalam jumlah yang relatif sedikit namun tingkat toksisitas yang sangat tinggi karena masuk dalam logam berat (Bunce, 1994, Fergusson, 1990). Seluruh logam berat muncul secara alami di lingkungan yang dihasilkan dari buangan industri dengan jumlah yang makin hari makin meningkat. Berdasarkan pendapat dari Kovacs (1992).

Logam yang mempunyai kontribusi toksisitas di dalam air adalah timbal, kadmium, merkuri, dan aluminium. Sumber dari logam berat timbal, kadmium, dan merkuri dalam air, baik yang berupa larutan atau pun padatan sering ditemukan di balik batu, ditemukan dalam bentuk sulfida yang berasal dari limbah/buangan industri yang terkontaminasi, lindi dari *secure landfill* yang tidak terkontrol, kegiatan pertambangan yang buruk, dan kebocoran pada kolam penampungan limbah (Bunce, 1994).

A. Karakteristik Arsen

Arsen dalam air tanah terbagi dalam dua bentuk, yaitu bentuk tereduksi terbentuk dalam kondisi anaerobik, sering disebut arsenit. Bentuk lainnya adalah bentuk teroksidasi, terjadi pada kondisi aerobik, umum disebut sebagai arsenat (Jones, 2000). Arsen merupakan unsur dari komponen obat sejak dahulu kala. Senyawa arsen trioksida misalnya pernah digunakan sebagai tonikum, yaitu dengan dosis 3 x 1-2 mg. Dalam jangka panjang, penggunaan tonikum ini ternyata telah menyebabkan timbulnya gejala intoksikasi arsen kronis. Arsen juga pernah digunakan sebagai obat untuk infeksi parasit, seperti protozoa, cacing, amoeba, spirocheta, dan

Tabel 1
Kandungan Arsen Alami di Alam

Tipe Batu	Konsentrasi Arsen (mg/kg)
Batuan Beku	
Ultrabasic	0,3-16
Basalt	0,06-113
Andesit	0,5-5,8
Granit	0,2-13,8
Batuan Sedimen	
Tanah lempung	0,3-490
Posporit	0,4-188
Batuan pasir	0,6-120
Batu kapur	0,1-20
Batubara	
Bituminous	9,0±0,8
Lignit	7,4±1,4
Peat	16-340

Sumber: (Jacks and Bhattacharya,1998)

tripanisoma, tetapi kemudian tidak lagi digunakan sebagai obat pada resep homeopati.

B. Sifat Kimia Arsen

Arsen ditemukan dalam 200 bentuk mineral, diantaranya arsenat (60%), sulfida dan sulfosalts (20%), dan kelompok kecil berupa arsenida, arsenat, oksida silikat, dan arsen murni (Onishi, 1969). Mayoritas arsen ditemukan dalam kandungan utama arsenopyrite (FeAsS), realgar (As_4S_3), dan orpiment (As_2S_3). Realgar (As_4S_3), dan orpiment (As_2S_3) biasanya menurunkan bentuk dari arsen itu sendiri. Kondisi natural lainnya yakni loellingite (FeAs_2), saffrolite (CoAs), nicolite (NiAs), rammelsbergite (NiAs_2), arsenopyrite (FeAsS), kobaltite (CoAsS), enargite (Cu_3AsS_4), gersdorffite (NiAsS), glaucodot ($(\text{Co,Fe})\text{AsS}$), dan elemen arsen (Greenwood dan Earnshaw, 1989). Berikut merupakan Tabel 1 Kondisi As di Alam.

Dalam lingkungan perairan, kondisi dalam tekanan oksidasi arsen membentuk pentavalent arsenat (As(V)), dimana dalam kondisi sebaliknya saat tereduksi membentuk trivalent arsenit (As(III)), dan mobilitas serta penyerapan oleh sedimen, tanah lempung, dan mineral tanah bergantung pada bentuk arsennya. Dalam kondisi anoksik, aktivitas mikrobial dapat membentuk arsen dalam metilat, yang mana berbentuk padat dan mampu masuk ke lapisan atmosfer (Nriagu *et al.*, 2007).

C. Karakteristik Kadmium

Kadmium adalah logam berwarna putih perak, lunak, mengkilap, tidak larut dalam basa, mudah bereaksi, serta menghasilkan Kadmium Oksida bila dipanaskan. Kadmium (Cd) umumnya terdapat dalam kombinasi dengan klor (Cd Klorida) atau belerang (Cd Sulfid). Kadmium membentuk Cd^{2+} yang bersifat tidak stabil. Cd memiliki nomor atom 40, berat atom 112,4, titik leleh 321°C , titik didih 767°C dan memiliki masa jenis $8,65 \text{ g/cm}^3$ (Widowati dkk., 2008).

Logam kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium, tahan panas, tahan terhadap korosi. kadmium (Cd) digunakan untuk elektrolisis,

bahan pigmen untuk industri cat, enamel dan plastik. Logam kadmium (Cd) biasanya selalu dalam bentuk campuran dengan logam lain terutama dalam pertambangan timah hitam dan seng (Darmono 1995). Kadmium (Cd) adalah metal berbentuk kristal putih keperakan. Cd didapat bersama-sama Zn, Cu, Pb, dalam jumlah yang kecil. Kadmium (Cd) didapat pada industri alloy, pemurnian Zn, pestisida, dan lain-lain (Said, 2008).

D. Sumber-sumber Pencemar

Keberadaan arsen di alam (meliputi keberadaan di batuan (tanah) dan sedimen, udara, air, dan biota), produksi arsen di dalam industri, penggunaan dan sumber pencemaran arsen di lingkungan.

Logam kadmium (Cd) mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Berdasarkan sifat-sifat fisiknya, kadmium (Cd) merupakan logam yang lunak dapat dibentuk, berwarna putih seperti putih perak. Logam ini akan kehilangan kilapnya bila berada dalam udara yang basah atau lembab serta cepat akan mengalami kerusakan bila dikenai uap amoniak (NH_3) dan sulfur hidroksida (SO_2) (Palar, 2004). Pada kegiatan pertambangan biasanya kadmium ditemukan dalam bijih mineral diantaranya adalah sulfida green ockite (=xanthochroite), karbonat otative, dan oksida kadmium. Mineral-mineral ini terbentuk berasosiasi dengan bijih sfalerit dan oksidanya, atau diperoleh dari debu sisa pengolahan lumpur elektrolit (Herman, 2006).

E. Sumber-sumber Pencemar Industri

- Industri Pengolahan Bijih Logam
- Industri Pestisida
- Industri Pertambangan
- Industri Pelapisan Logam
- Proses Penghilangan Cat (*Paint Stripping*)

F. Kasus Pencemaran oleh Arsen dan Kadmium

- Kasus Pencemaran Arsen di Bangladesh

Kasus kontaminasi arsen dilaporkan terjadi di Bangladesh. Warga di Bangladesh menggunakan air sumur yang tercemar arsenik sebagai sumber air minum utama. Diperkirakan 35 sampai 57 juta penduduk di negara ini menjadi korban dalam kasus pencemaran. Pemerintah Bangladesh dan organisasi non-pemerintahan terlibat peran yang aktif memerangi masalah ini (Paul, 2004). Penduduk Bangladesh menggunakan sumur pompa untuk mengambil air di lapisan air tanah. Menurut data penggunaan air minum yang berasal dari sumur-sumur pompa ini mencapai 95% dari keseluruhan populasi Bangladesh. Penduduk negara ini menderita penyakit yang sangat merugikan, mulai dari melanosis hingga kanker kulit dan gangren. Dalam beberapa laporan mengungkapkan bahwa air sumur yang tercemar sudah membunuh 3000 jiwa serta membuat 125000 korban terkena kanker kulit.

Departemen Teknik Kesehatan Masyarakat Bangladesh mendeteksi sumur yang tercemar arsen pertama kali pada tahun 1993. Persebaran paparan arsenik berawal di dataran tengah yang merupakan pusat negara bangladesh menyebar ke utara dan selatan yang datarannya lebih rendah melalui lapisan bawah tanah (Paul, 2004). Dugaan lainnya

adalah anggapan adanya kandungan arsen dalam mineral sulfida pada kedalaman 66-330 kaki di bawah sungai utama yakni sungai Gangga yang mengalir di 2 negara yakni India dan Bangladesh. Di bawah ini terdapat Gambar 2.6 mengenai persebaran konsentrasi arsen di wilayah Bangladesh. Negara Bangladesh memiliki kandungan arsen tinggi di dalam lapisan tanahnya. Arsen yang sering ditemukan dalam bentuk cebakan secara natural terurai dengan bantuan pH yang tinggi. Pada pH tertentu arsen mudah terurai dari cebakannya, selanjutnya arsen akan larut dalam air yang mengalir di sungai setempat. Arsen yang larut dalam air juga meresap ke dalam air tanah dan dikonsumsi oleh penduduk setempat.

- Kasus Pencemaran Kadmium di Jepang (Itai-itai Disease)

Itai-itai disease yang terjadi di Jepang pertama kali ditemukan pada area yang sangat tercemar di lembah sungai Jinzu, terletak di Prefektur Toyama, Jepang. Penyakit ini sendiri menunjukkan gejala *nephropathy* dan *osteomalacia*. Kedua penyakit ini merupakan penyakit yang timbul akibat adanya kandungan kadmium dalam tubuh. Dinas kesehatan setempat atau *Public Welfare Office of Toyama* (Dinas Kesejahteraan Masyarakat Toyama) mengidentifikasi area yang terpolusi Cd bahwa sejak tahun 1967, 97% dari 132 penduduk yang meninggal dunia adalah korban itai-itai disease (Kawano *et al.*, 1984).

Kasus keracunan kadmium ini terjadi di saat Jepang sedang gencar memproduksi senjata untuk kebutuhan militer. Penambangan yang dilakukan Mitsui Mining and Smelting Co., Ltd secara tidak langsung membuat penderitaan penduduk di sungai Jinzu menjadi efek yang berkepanjangan. Karena efek yang akut, para pasien itai-itai disease merasakan rasa sakit luar biasa akibat keracunan kadmium selama akhir sisa umurnya. Banyak pula kasus meninggalnya pasien yang terkena penyakit ini setelah mengonsumsi air sungai Jinzu serta memakan beras yang diirigasi oleh sungai tersebut (Nogawa dan Suwazono, 2011).

Di tahun 1967, teridentifikasi kandungan kadmium, seng, dan tembaga dari 34 area irigasi yang menggunakan sistem pengairan sungai Jinzu dan 16 area irigasi yang menggunakan sistem pengairan lainnya. Area pengairan sungai Jinzu dengan kandungan logam berat yang paling parah. 34 area persawahan padi di sekitar sungai Jinzu ditemukan 4,04 ppm kandungan logam berat dalam air yang memasuki area tersebut, 2,42 ppm kandungan logam berat di tengah area persawahan, dan 2,24 ppm di area *outlet* irigasi. Sedangkan logam kadmium sendiri berkisar kurang dari 1,0 ppm di seluruh wilayah persawahan. Hasil hipotesis adalah masuknya kadmium dalam tubuh manusia diduga karena padi yang dihasilkan kawasan tersebut tercemar kadmium. Keseluruhan padi yang diteliti konsentrasi Cd beragam mulai dari 1,0 ppm hingga yang tertinggi mencapai 6,88 ppm (Nogawa dan Suwazono, 2011). Penelitian tersebut menjadi titik terang bagaimana warga setempat teracuni logam berat kadmium, pada umumnya mereka mengonsumsi padi hasil pertanian setempat. Hal ini juga menjadi simpulan dari artikel terdahulu bahwa keracunan kadmium memang dari oral (mulut) yang berlanjut ke pencernaan.

Kasus pencemaran Cd di Jepang bila mengacu kepada perundangan-undangan di Indonesia memang masuk dalam kategori pencemaran berat. Disebutkan bahwa kandungan kadmium di dalam padi pada area tercemar berkisar antara 1,00 ppm sampai 6,88 ppm serta 4,04 ppm di sungai Jinzu itu tidak sesuai dengan Permen LH tahun 2010 bahwa standar baku mutu air limbah kawasan industri yang hanya diperbolehkan 0,1 mg/l. Kadar kadmium di sungai Jinzu juga sebaiknya tidak dikonsumsi sebagai air minum bila mengacu kepada standar kualitas air minum yang ditetapkan oleh kementerian kesehatan di negeri ini yang hanya mengizinkan 0,003 mg/l.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Mekanisme Pencemaran Logam di Lingkungan

Terlepasnya kontaminan ke alam tidak dapat dihindari, hal ini merupakan proses karena adanya pabrik-pabrik serta akibat dari proses penanganan limbah dan pembuangan sampah akhir. Setelah terlepas ke lingkungan, kontaminan akan bereaksi secara cepat, kadang juga sangat lambat terserap oleh makhluk hidup dan terakumulasi di dalamnya.

Kontaminan terpapar di alam melalui 3 fase yaitu cair, padat dan gas. Dalam fase cair, kontaminan terpapar dengan berbagai cara yakni melalui *runoff*, langsung dikeluarkan ke badan air di permukaan, dan air lindi ke lapisan air tanah. Sedangkan emisi gas dilepaskannya dengan cara emisi padat yang berasal dari danau serta paparan langsung dari cerobong akibat pembakaran tidak sempurna (termasuk di dalamnya hasil pembakaran CO₂ dan H₂S serta gas bekas pembakaran materi organik). Pada fase padat, kontaminan ini dapat tercampur dalam gas dan air (baik yang terlarut maupun yang tidak larut dalam air (LaGrega *et al.*, 1994). Pelepasan kontaminan dari dalam tanah ke lautan terserap oleh biota laut, kemudian terakumulasi oleh biota selama periode tertentu. Terpaparnya kontaminan juga masuk ke dalam sedimen lautan yang akhirnya terserap oleh tanaman dasar laut. Pada proses tersebut terjadi adsorpsi-desorpsi, serta biodegradasi oleh lingkungan akuatik (LaGrega *et al.*, 1994).

Logam berat secara umum masuk ke lingkungan dengan dua cara, yakni secara natural dan antropogenik (terlepas ke lingkungan dengan campur tangan manusia atau tidak alami). Kondisi alami terlepasnya logam berat di lingkungan akibat adanya pelapukan sedimen akibat cuaca, erosi, serta aktivitas vulkanik. Sedangkan, terlepasnya logam berat secara antropogenik akibat aktivitas manusia diantaranya *electroplating*/pelapisan logam, pertambangan, peleburan, penggunaan pestisida, pupuk penyubur tanah, dan lain sebagainya (Ali *et al.*, 2013).

Logam umumnya ditemukan di alam dalam bentuk alami (Forstner *et al.*, 1995). Menurut Darmono (2001) adapun tujuan utama untuk mengetahui konsentrasi logam pada lingkungan perairan adalah:

- Mengetahui konsentrasi kandungan logam pada hewan air, baik hewan air laut maupun air tawar. Sehingga dapat dicegah terjadinya toksisitas kronis maupun akut pada orang memakannya.

b. Mengetahui konsentrasi logam dalam air dan sedimen, yang nantinya dimanfaatkan sebagai air irigasi ataupun air minum. Sehingga dalam penggunaannya tidak berakibat buruk bagi orang yang mengkonsumsinya.

B. Dampak Pencemaran Pada Manusia Dan Lingkungan

Arsenik memang dikenal karsinogen atau dapat menyebabkan kanker. Orang yang terlalu banyak terkena zat arsen dari konsumsi air minum disebut arsenikosis. Korban dari arsenikosis ini tidak akan berdampak dalam waktu dekat, namun dampaknya baru terlihat setelah dalam jangka waktu yang lama (*long-term*). Berbagai dampak diantaranya pigmentasi kulit, gangren, dan keratosis, itu pun baru terlihat minimal 5 tahun terkena arsenik yang terakumulasi. Karena keracunan arsen ini tidak langsung dapat dilihat, maka tindakan yang paling mungkin adalah tindakan pencegahan (Paul, 2004).

Kadmium memiliki efek yang sangat unik kepada anak-anak yakni dapat membantu perkembangan otak pada anak. Namun di sisi lain, kadmium memiliki efek yang tidak baik untuk manusia dewasa, diantaranya menaikkan resiko terjadinya kanker payudara, penyakit kardiovaskular atau paru-paru, dan penyakit jantung. Efek lain yang menunjukkan toksisitas kadmium adalah kegagalan fungsi ginjal, encok, pembentukan artritis, juga kerusakan tulang (Chen, 2009). Logam kadmium (Cd) akan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup (tumbuhan, hewan dan manusia). Dalam tubuh biota perairan jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan (biomagnifikasi) dan dalam rantai makanan biota yang tertinggi akan mengalami akumulasi kadmium (Cd) yang lebih banyak (Palar, 2004). Kadmium dapat terakumulasi dalam di tubuh manusia serta baru dapat keluar dari dalam tubuh, tetapi dengan waktu tunggu berkisar antara 20-30 tahun lamanya. Efek dalam tubuh pun beragam, mulai dari hipertensi sampai kanker (Watts, 1997).

Bahan pencemar yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami tiga macam proses akumulasi, yaitu fisik, kimia, dan biologis. Buangan limbah industri yang mengandung bahan berbahaya dengan toksisitas yang tinggi dan kemampuan biota laut untuk menimbun logam-logam bahan pencemar langsung terakumulasi secara fisik dan kimia kemudian mengendap di dasar perairan. Metabolisme bahan berbahaya terjadi melalui rantai makanan secara biologis yang disebut bioakumulasi (Hutagalung, 1984).

Kadar logam berat yang terdapat dalam tubuh organisme perairan lebih tinggi jika dibandingkan dengan kadar logam berat yang terdapat dalam lingkungan hidupnya. Unsur-unsur logam berat dapat masuk ke dalam tubuh organisme dengan tiga cara, yaitu melalui rantai makanan, insang, dan difusi melalui permukaan kulit. Pengeluaran logam berat dari tubuh dan insang serta isi perut dan urine (Bryan, 1976). Akumulasi pada organisme terjadi karena kecenderungan logam berat untuk membentuk senyawa kompleks dengan zat-zat organik yang terdapat dalam tubuh organisme sehingga logam berat terfiksasi dan tidak segera diekskresi oleh organisme yang bersangkutan (Waldichuk, 1974).

C. Teknologi Penanggulangan Dampak Pencemaran Logam Berat

• Arsenat dan arsenit removal dengan besi *zerovalent*

Arsenat (As(V)) dan arsenit (As(III)) dapat dihilangkan dengan besi *zerovalent* yang ada pada larutan berisi air. Hal ini dibuktikan dari sebuah penelitian yang dilakukan, dimana terlihat efektivitas penurunan kandungan arsenat dan arsenit dalam dua buah reaktor. Peneliti menggabungkan 4 tipe dari Fe⁰ (besi *zerovalent*) untuk mendapatkan perbandingan yang sesuai dalam 0,01 M NaCl. Fisher elektrolisis Fe⁰ menunjukkan pergerakan arsen yang begitu cepatnya. Fe⁰ merusak permukaan dari larutan berisi air kemudian membentuk korosi semacam magnet pada permukaan Fe⁰. Hal ini lah pada akhirnya membuat interaksi antar logam, yaitu antar Fe⁰ dan As. Dalam percobaan ini pH berpengaruh sangat kuat dimana pH di bawah 7 merupakan pH paling efektif dalam membantu interaksi ion antar logam. Selanjutnya pada pH 8 interaksi ion lebih stabil hingga waktu ditentukan selama 120 jam setelah pemberian besi *zerovalent*.

Dalam studi ini menunjukkan bahwa besi *zerovalent* memang sangat efektif untuk menghilangkan arsenat dan arsenit yang terlarut dalam air. Dari grafik diperlihatkan juga pH asam mampu mempercepat *removal* hingga pada akhirnya *removal* stagnan di pH 8 (Su dan Puls, 2001).

• Fitoremediasi

a) Teknik Fitoremediasi dengan *Alnus firma*

Fitoremediasi dianggap sebagai salah satu cara memperbaiki atau menghilangkan logam berat di alam. Fitoremediasi sendiri merupakan proses bioremediasi yang menggunakan berbagai tanaman untuk menghilangkan, memindahkan, dan atau menghancurkan kontaminan dalam tanah dan air bawah tanah (Subroto, 1996).

Alnus firma dapat bertahan hidup di banyak lokasi pertambangan di Korea. Yang membuat *Alnus firma* sukses menahan stres dalam kondisi cemar logam berat terletak pada bakteri di akarnya yang mampu beraksi positif dengan logam berat seperti As, Cu, Cd, Ni, Pb, dan Zn. Cara interaksinya sangat unik yakni, *Alnus firma* menyediakan enzim yang kaya nutrisi untuk mendukung kehidupan mikroba dan mikroba membantu menyerap lingkungan xenobiotik yang ada dan mengisolasi. Simbiosis ini berlangsung seterusnya yang saling menguntungkan kedua belah pihak. Tanaman *Alnus firma* mampu tumbuh baik secara natural di lahan dengan tingkat logam berat yang relatif tinggi. Hal ini didukung oleh isolasi yang dilakukan bakteri *Bacillus thuringiensis* GDB-1 di akar tanaman *Alnus firma*. GDB-1 mengacu pada penamaan selama penelitian, kemudian ditemukan bahwa dalam sampling merupakan bakteri *B. thuringiensis*. Simbiosis antara tanaman ini dan bakteri *rhizosphere* mengisolasi logam berat sekaligus mengurangi tingkat stres tanaman terhadap kehadiran polutan logam berat. Kinerja bakteri ini optimal dalam pH 4-9, pada pH ini kemampuan bakteri berlangsung hingga 90% isolasi logam berat (Babu *et al*, 2013).

b) Teknik Fitoremediasi pada Lahan Pertambangan

Pencemaran yang sering terjadi yakni di lokasi pertambangan, dimana limbah hasil pertambangan (*tailing*) pasti menghasilkan limbah yang mengandung logam berat.

Pada sebuah kasus pengolahan lahan tercemar yang berada di Iran, lebih tepatnya di pertambangan Angouran.

Menurut Chehregani, *et al.*, diantara 5 tanaman yang diuji sebagai akumulator logam berat di area pertambangan, yakni *Amaranthus retroflexus*, *Polygonum aviculare*, *Gundelia tournefortii*, *Noaea mucronata*, dan *Scariola orientalis*, didapatkan hasil bahwa pada tanah yang tercemar logam berat *N. mucronata* adalah tanaman yang paling baik pada penyerapan logam Pb, Zn, Cu, Cd, dan Ni. Sedangkan logam besi (Fe) paling baik diakumulasikan oleh *A. retroflexus*. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa *N. mucronata* sanggup mengakumulasi kandungan kadmium 14 mg/Kg.

c) Teknik Fitoremediasi dengan *Eichhornia crassipes*

Eichhornia crassipes merupakan jenis tanaman yang hidup di air yang lebih dikenal sebagai enceng gondok di Indonesia. Penelitian yang dilakukan Li dan kawan-kawan menunjukkan adanya peningkatan penyerapan logam berat yang terdapat dalam air. Enceng gondok lebih dulu dibakar hingga membentuk bubuk. Selanjutnya, larutan yang mengandung logam berat dibubuhi oleh bubuk enceng gondok. Optimalisasi dilakukan pada pH 5.0-6.0 serta dalam suhu 30°C. Penyerapan ini melibatkan pertukaran ion pada larutan, yaitu ion logam berat yang menyatu pada Enceng Gondok. Analisa dikemukakan dengan bantuan X-ray photoelektron spektroskopi.

d) Teknik Fitoremediasi dengan *Paulownia tomentosa*

Paulownia tomentosa dikatakan sebagai tanaman alternatif dalam teknik fitoremediasi yang dapat menyerap logam berat. Tanaman ini termasuk jenis tanaman fitoekstraksi yang memindahkan polutan dari dalam tanah ke area sekitar tanaman atau ke batang tanaman. Ketahanan *P. tomentosa* dalam menahan polutan logam berat tidak terlalu signifikan. Hal ini karena batasan jumlah daun, dan diameter batang. Semakin besar tanaman, maka semakin besar pula kemampuan *P. tomentosa* untuk menyerap logam yang terakumulasi dalam tanah (Doumet *et al.*, 2008).

D. Peraturan dan Perundang-undangan

Kepmen LH no. 51 tahun 1995 turut memuat baku mutu limbah cair umum bagi kegiatan industri. Baku mutu menjadi acuan ambang batas bagi industri lain di luar industri yang tersebut di atas, dimana industri-industri yang tidak tercantum oleh kepmen tersebut namun ditengarai menghasilkan limbah logam berat lainnya. Khusus diperuntukkan bagi arsen dan kadmium masing-masing sebesar 0,1 mg/L dan 0,05 mg/L untuk limbah dengan temperatur 38°C. Sedangkan bagi limbah golongan kedua dengan temperatur 40°C kandungan arsen dan kadmium sesuai dengan baku mutu sebesar 0,5 dan 0,1 mg/l.

Baku mutu limbah bagi kawasan industri ditetapkan sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.03 tahun 2010. Baku mutu ini secara spesifik memberikan batas 0,1 mg/L untuk kandungan kadmium. Baku mutu limbah cair pun diatur secara ketat di tingkat provinsi yang tertuang pada SK Gubernur Jawa Timur No. 45 tahun 2002 tentang baku mutu limbah cair bagi industri atau kegiatan usaha lainnya di Jawa Timur

Kementerian kesehatan RI menyatakan melalui Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia no. 492 tahun 2010 tentang persyaratan kualitas air minum dimana ada standar

baku untuk air yang layak dikonsumsi setelah mengalami pengolahan air bersih. Baku mutu untuk standar air minum juga menyebutkan 0,01 mg/l untuk arsen dan 0,003 mg/l untuk kadmium yang diizinkan adanya kedua logam berat tersebut.

Permenkes RI no 492 tahun 2010 tentang persyaratan kualitas air minum ini juga ditunjang oleh klasifikasi mutu air yang ditetapkan sesuai dengan Peraturan Pemerintah no. 82 tahun 2001 pada pasal 8 dimana ada 4 kelas, yakni kelas satu, kelas dua, kelas tiga, dan kelas empat. Menurut PP no. 82 tahun 2001 memperlihatkan bahwa kandungan untuk arsen dan kadmium yang diizinkan sebagai sumber baku air minum, yakni 0,05 mg/l dan 0,01 mg/l. Sedangkan untuk pengairan dapat menggunakan standar kelas 2, kelas 3, dan kelas 4.

Secara umum berdasarkan nilai baku mutu yang sudah dijelaskan di atas bahwa rata-rata kadar maksimal yang diperbolehkan di dalam air yakni masing-masing 0,05 mg/l untuk arsen dan 0,01 untuk kadmium.

Arsen dan Kadmium masuk dalam kategori limbah B3 berdasarkan sifat toksisitasnya. Menurut Peraturan Pemerintah no.18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun pasal 1, dimana dampak yang ditimbulkan As dan Cd mampu merusak lingkungan dan kesehatan manusia sehingga dikategorikan limbah B3. PP tersebut direvisi lebih lanjut, menghasilkan PP No. 85/1999 tentang Perubahan PP No. 18/1999 (Trihadiningrum, 2000). Peraturan terbaru yang mengatur mengenai B3 yakni PP no 74 tahun 2001 tentang pengelolaan bahan berbahaya dan beracun.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dari hasil penulisan meliputi:

1. Mekanisme pencemaran logam berat berasal dari 2 sumber, yakni natural dan antropogenik.
2. Dampak yang dihasilkan pada makhluk hidup oleh pencemaran logam berat hampir sama yakni sifatnya yang akumulatif dan menyebabkan penurunan kesehatan manusia.
3. Kasus yang menjadi contoh dalam penulisan ini yaitu kasus pencemaran arsen di Bangladesh dan kasus pencemaran kadmium di Jepang.
4. Teknik Fitoremediasi terhadap area tercemar logam berat merupakan langkah paling efektif
5. Pada peraturan perundangan yang ada di Indonesia, sesuai baku mutu, kadar arsen dan kadmium yang diijinkan yakni 0,05 mg/l untuk arsen dan 0,05 mg/l untuk kadmium.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ali, Makrus. 2012. **Bahaya Logam Berat Bagi Kesehatan**, <URL:http://mychemistryblog.blogspot.com/2012/12/bahaya-logam-berat-bagi-kesehatan_27.html>
- [2] Ali, H., Khan, E., Sajad, M.A., 2013. "Phytoremediation of Heavy Metals-Concepts and Applications". **Chemosphere** 91 (2013) 869-881.
- [3] Babu, A.G., Kim, J.D., Oh, B.T., 2013. "Enhancement of Heavy Metal Phytoremediasi by *Alnus* firma with Endophytic *Bacillus thuringiensis* GDB-1". **Journal of Hazardous Materials** 250-251 (2013) 477-483.

- [4] Bryan, G.W., 1976. **Heavy Metal Contamination in the Sea**. Di dalam: Johnston R., editor. **Marine Pollution**. New York: Academic Press.
- [5] Bunce, N. 1994. **Environmental Chemistry**. Canada: Wuerz Publishing Ltd.
- [6] Chehregani, A., Noori, M., Yazdi, H.L., 2009. "Phytoremediation of heavy-metal-polluted soils: Screening for New Accumulator Plants in Angouran Mine (Iran) and Evaluation of Removal Ability". **Ecotoxicology and Environmental Safety** 72 (2009) 1349-1353.
- [7] Chen, Dr., Klassen, C.D., 2009. "Cadmium Toxicity". **Environmental Health Perspective** Dec. 2009.
- [8] Darmono. 2001. **Lingkungan Hidup dan Pencemarannya**. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- [9] Doumet, S., Lamperi, L., Checchini, L., Azzarello, E., Mugnai, S., Mancuso, S., 2008. "Heavy metal distribution between contaminated soil and *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents". **Chemosphere** 72 (2008) 1481-1490.
- [10] Fergusson, J.E. 1990. **The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects**. England: Pergamon Press plc.
- [11] Forstner, Mader, and Salomons. 1995. **Heavy Metals**. New York: Springer.
- [12] Greenwood, N. N., Earnshaw, A., 1989. **Chemistry of the Elements**. New York: Pergamon Press.
- [13] Herman, D.Z., 2006. "Tinjauan terhadap Tailing Mengandung Unsur Pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari Sisa Pengolahan Bijih Logam". **Jurnal Geologi Indonesia** Vol. 1 No. 1 Maret 2006: 31-36.
- [14] Hutagalung, H.P., Hamidah. 1982. **Pengamatan Pendahuluan Kadar Pb dan Cd dalam Air dan Biota di Estuaria Muara Angke**. Aseanologi di Indonesia, No. 15: Jakarta: LION LIPI.
- [15] Kawano, S., Nakagawa, H., Okumura, Y., Tsujikawa, K., 1984. "A Mortality Study of Patients with Itai-itai Disease". **Environmental Research** 40, 98-102 (1986).
- [16] Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2010. **Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 03 Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri**.
- [17] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2010. **Peraturan Menteri Kesehatan RI No 492 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum**.
- [18] Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2004. **Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 tentang Baku Mutu Air Laut**.
- [19] Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia . 1995. **Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri**.
- [20] Kovacs, M. 1992. **Biological Indicators in Environmental Protection**. England: Ellis Horwood.
- [21] LaGrega, M.D., Buckingham, P.L., Evans, J.C., 1994. **Hazardous Waste Management**. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- [22] Nogawa, K., Suwazono, Y., 2011. "Itai-itai Disease". **Encyclopedia of Environmental Health Itai-itai Disease** Vol. Issue 2011.
- [23] Palar, H. 1994. **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat**. Jakarta: Rineka Cipta
- [24] Paul, B.K. 2004. "Arsenic Contamination Awareness among the Rural Resident in Banglades". **Social Science & Medicine** 59 (2004) 1741-1755.
- [25] Pemerintah Republik Indonesia. 2001. **Peraturan Pemerintah RI No 74 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun**.
- [26] Pemerintah Republik Indonesia. 2001. **Peraturan Pemerintah RI No 82 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air**.
- [27] Pemerintah Republik Indonesia. 1999. **Peraturan Pemerintah RI No 18 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**.
- [28] Su, C., Puls, R.W., 2001. "Arsenate and Arsenite Removal by Zerovalent Iron: Effects of Phosphate, Silicate, Carbonate, Borate, Sulfate, Chromate, Molybdate, and Nitrate, Relative to Chloride". **Enviro. Sci. Technol**, 35 4562-4568.
- [29] Waldichuk M. 1974. **Some Biological Concern in Heavy Metals Pollution. Pollution and Physiology of Marine Organism**. Editor KJ Vernberg dan WB Vernberg. New York: Academic Press.
- [30] Watts, R.J. 1997. **Hazardous Waste: Sources, Pathways, Receptors**. New York: John Wiley and Sons, Inc.