

PENGELOLAAN CEMARAN KADMIUM PADA LAHAN PERTANIAN DI INDONESIA

Cadmium Contamination Management on Agricultural Land in Indonesia

Sutrisno dan Henny Kuntastuti ¹⁾

ABSTRAK

Pencemaran logam kadmium menjadi isu penting pada pengelolaan lahan pertanian karena dapat mengakibatkan penyakit kanker, kerusakan jantung, hati, ginjal, paru-paru, mutagenesis, patah tulang hingga menyebabkan kematian pada manusia. Akumulasi kadmium pada tanaman menghambat pertumbuhan, penurunan hasil, dan mempercepat kematian tanaman. Pencemaran kadmium pada lahan pertanian di beberapa daerah di Indonesia telah melebihi ambang batas sehingga memerlukan perhatian serius baik oleh pelaku industri, petani, maupun pemerintah. Pencemaran ini berasal dari pembuangan limbah industri, aplikasi pestisida dan pupuk kimia secara berlebihan dan terus menerus, serta pembuangan sampah rumah tangga ke sungai. Remediasi lahan tercemar kadmium dapat dilakukan dengan cara pengelolaan limbah industri, efisiensi penggunaan pupuk anorganik dan pestisida, pengolahan tanah minimal, pengelolaan air, aplikasi kapur, bakteri, pupuk organik, penanaman gulma penyerap kadmium atau tanaman kacang tanah, dan peningkatan pengawasan pemerintah.

Kata kunci: pencemaran kadmium, remediasi, kacang tanah

ABSTRACT

Cadmium contamination is one of the important issue in agricultural land management. This contaminant can cause some of diseases *i.e.* cardiac, liver, lung, fracture, and mutagenesis. This contamination also is able to hamper plant growth, yield, and increase plant death. In some site of Indonesia, cadmium contamination has exceed maximum level so it is needed serious consideration by farmer, industry, and government. Cadmium contamination caused by industrial waste, intensive pesticides and phosphate fertilizer application, and sewage sludge. Contaminated land is able to be

¹⁾ Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Kotak Pos 66 Malang Telp. (0341) 801468, Fax: 0342-801496; e-mail: sutrisnoharun@litbang.pertanian.go.id

Naskah diterima 2 Agustus 2015; disetujui untuk diterbitkan tanggal 31 September 2015.

recovered through good waste management, effective and efficiency pesticide and anorganic fertilizer applications, minimum tillage, water reservation management, application of calcium, bacteria, organic fertilizer, grass remediation, planting of peanut, and intensive government supervision.

Keyword: cadmium contamination, remediation, peanut

PENDAHULUAN

Upaya mewujudkan ketersediaan bahan pangan yang cukup dan aman bagi masyarakat melalui intensifikasi budidaya tanaman untuk memperoleh hasil tinggi ternyata menimbulkan dampak negatif berupa pencemaran logam berat. Pemberian pupuk dan pestisida yang melebihi dosis demi menjaga dan meningkatkan hasil tanaman menyebabkan konsentrasi beberapa jenis logam berat pada tanah, air, maupun tanaman meningkat melebihi ambang batas yang diperbolehkan. Keadaan ini juga diperparah dengan adanya pembuangan limbah industri ke perairan yang dimanfaatkan untuk pengairan pertanian (Tongesayi dan Tongesayi 2014).

Pencemaran logam berat pada lahan pertanian dapat terserap oleh tanaman dan terakumulasi di bagian akar, daun, buah, maupun biji (Fang dan Zhu 2014). Akumulasi kadmium (Cd) pada tanaman dapat menghambat penyerapan unsur hara (Pardo *et al.* 2013), menghambat distribusi fotosintat (Xue *et al.* 2013; Xue *et al.* 2014), menghambat laju fotosintesis, aktivitas enzim (Arbon *et al.* 2011), meningkatkan senyawa peroksida (Liu dan Templeton 2007), dan menyebabkan perubahan genetik (Dezar, Fedrigo, dan Chan 2005). Konsumsi hasil tanaman pangan tercemar logam berat menyebabkan akumulasi logam berat dalam organ tubuh yang menjadi penyebab berbagai macam penyakit maupun gangguan fungsi organ tubuh seperti patah tulang, kanker, kerusakan jantung, hati, ginjal, paru-paru, dan mutagenesis yang dapat menyebabkan kematian (Friberg *et al.* 1992; Portier 2012).

Pengawasan pemerintah terhadap pencemaran limbah logam berat pada lahan pertanian maupun perairan di Indonesia sudah banyak dilakukan. Beberapa peraturan yang mengatur pencemaran limbah logam berat adalah PP no. 18 tahun 1999 *juncto* PP no. 85 tahun 1999 tentang Limbah B3, PP No. 74 dan 82 tahun 2001, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup tentang pengawasan limbah oleh Pemerintah Daerah, Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 907/Menkes/ SK/VII/2002 tentang persyaratan kimia air, serta Peraturan Menteri Pertanian (Permentan) No 70/Permentan/SR.140/10/2011 tentang kandungan kadmium dalam pupuk organik. Meskipun pengawasan sudah dilakukan, pencemaran logam berat pada lahan pertanian tetap terjadi, misalnya terdeteksinya kontaminasi kadmium pada bawang merah di daerah Tegal Jawa Tengah (Kusumaningrum *et al.* 2012) dan pencemaran pada lahan pertanian di daerah Pengalengan Jawa Barat (Kusdianti *et al.* 2014).

Kontaminasi logam berat di Tegal Jawa Tengah dan Pengalengan Jawa Barat menunjukkan bahwa kontaminasi logam berat pada lahan pertanian berpeluang terjadi di daerah lainnya di Indonesia. Pencemaran kadmium pada lahan pertanian di beberapa wilayah di Indonesia serta upaya perbaikannya akan dibahas pada makalah ini.

KADMIUM DALAM TANAH

Kadmium pertama kali ditemukan pada bebatuan “calamine” (seng dan karbonat) oleh ilmuwan jerman Friedric Strohmeyer pada tahun 1817. Kadmium terdapat di seluruh lapisan permukaan bumi dalam konsentrasi rendah yaitu 0,1–0,5 ppm (Smiciklas 2003). Dalam air laut, konsentrasi kadmium berkisar 5–110 ng/L (Morrow 2001). Pada konsentrasi ini, kadmium masih berada dalam kisaran normal. Kandung-

an kadmium akan meningkat jika terjadi bencana alam seperti gunung meletus, atau kegiatan penambangan batubara, minyak bumi, logam nikel (Ni), zink (Zn), timbal (Cu), dan besi (Fe). Penambangan logam tersebut berpengaruh terhadap meningkatnya konsentrasi kadmium di permukaan tanah karena kadmium terikat dengan unsur nikel (Ni), zink (Zn), timbal (Cu), besi (Fe), sulfat (SO₄), dan kalsium (Ca).

Kadar kadmium dinyatakan dalam satuan ppm, ng/l, µg/m³, dan mg/kg. Satuan kadmium dalam atmosfer biasanya dinyatakan dengan µg/m³, dalam air laut dengan ng/l dan dalam tanah dengan ppm (Tabel 1). Analisis kadar kadmium dilakukan dengan beberapa metode seperti spektrofotometri, *identification selection electron* (ISE), *ionic liquid modified electrochemical sensor* (Wang *et al.* 2015), dan kromatografi.

PENCEMARAN KADMIUM DI INDONESIA

Pencemaran logam berat kadmium telah terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia seperti Sumatera, Jawa, Bali, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Pencemaran berasal dari pembuangan limbah industri, pertambangan, aplikasi pupuk kimia dan pestisida kimia secara berlebihan, dan pembuangan limbah rumah tangga ke dalam aliran sungai.

Pembuangan limbah industri merupakan penyebab utama pencemaran logam berat pada lahan pertanian karena mengandung unsur logam berat paling tinggi dibanding sumber pencemar lainnya. Industri yang menghasilkan cemaran limbah di antaranya industri pertambangan, baja, semen, tekstil, elektronik, kertas, dan penyamakan kulit. Selain melalui air, pencemaran industri juga dapat melalui udara yang berasal dari asap dan debu industri maupun dari air hujan pada daerah industri. Di Sumatera misalnya, pencemaran terjadi di perairan sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hulu Riau. Pencemaran ini berasal dari limbah penambangan emas ilegal di Desa Japura, Danau Baru, dan Redang. Lahan sawah di Rancaengkek Bandung juga mengalami cemaran kadmium dari limbah pabrik tekstil yang dialirkan ke Sungai Cikijing (Tabel 2).

Pencemaran logam kadmium pada lahan pertanian juga berasal dari penggunaan pestisida dan pupuk fosfat anorganik (Fang dan Zhu 2014). Berbagai jenis pestisida mengandung

Table 1. Rata-rata kandungan kadmium di alam

Jenis pembawa	Kandungan kadmium
Lapisan kerak bumi	0,1–0,5 ppm
Atmosfer	0,1–5 ng/m ³
Lautan	10–100 ng/l
Bijih seng	200–14000 ppm
Bijih timah dan tembaga	200–500 ppm
Bahan bakar fosil	0,5–1,5 ppm

Sumber: Smiciklas (2003).

Tabel 2. Penyebaran kontaminasi Cd di lahan pertanian dan perairan di Indonesia.

	Lokasi	Sumber pencemar	Kisaran Cd lahan pertanian (ppm)	Status	Sumber literatur
1	Daerah aliran Sungai Indra Giri Kabupaten Indragiri Hulu, Riau	Pembuangan limbah penambangan emas tanpa ijin (PETI)	0,10–0,17	Tercemar	Oktaria, Hanifah, dan Anita (2014)
2	Daerah Aliran Sungai (DAS) Musi Palembang	Limbah pelabuhan dan bahan bakar	0,1000–0,1890	Tercemar	Emilia, Suheryanto, dan Hanafiah (2013)
3	Lahan sawah Kec. Rancaengkek, Bandung, Jawa Barat	Limbah industri tekstil di Sungai Cikijing	0,86–9,69	Tercemar	S. Sutono dan K. Utami (2014)
4	Pengalengan, Jawa Barat	Aplikasi pupuk fosfat	0,18–4,06	Tercemar	Kusdianti <i>et al.</i> (2014)
5	Karawang, Subang, Indramayu, Majalengka, Cirebon Jawa Barat	Kemungkinan Aplikasi pupuk TSP terus menerus	0,62–2,89	Tercemar	Surtipanti <i>et al.</i> (1995)
6	Perairan Pelawangan Timur, Cilacap Jawa Tengah	Limbah tambang minyak	0,01–0,54	Tercemar	Hartono, Siregar, dan Hidayati (2013)
7	Tanaman bawang di lahan pertanian di Brebes Tegal Jawa Tengah	Irigasi, aplikasi pupuk berlebihan dan pestisida	1,83	Tercemar	Kusumaningrum <i>et al.</i> (2012)
8	Sungai Bengawan Solo, Jawa Tengah dan Jawa Timur	Limbah industri dan produk rumah tangga	0,08–0,13	Tercemar	Sulistiyanto dan Astuti (2009)
9	DAS Sungai Wonokromo Jawa Timur	Produk rumah tangga	0,001–0,003	Aman	Prawita (2008)
10	Perairan di Kabupaten Badung Bali	Limbah domestik dan pertanian	0,008–0,22	Tercemar	Sundra (2011)
11	Lahan pertanian Kec. Pontianak Utara Kalimantan Barat	Input budidaya	0,009–0,601	Tercemar	Susana (2010)
12	Sungai Sekonyer di Kab. Kotawaringin Barat Kalimantan Tengah	Penambangan	0,01–0,03	Aman	Indarwati, Mahendra, dan Arthana (2007)
13	DAS sungai Barito Kalimantan Selatan	Penambangan	0,002–0,0067	Aman	Ridwan, Sofarini, dan Dini (2011)
14	DAS Pangkajene Sulawesi Selatan	Limbah domestik, limbah industri	0,005–0,015	Aman	Aripai dan Daud (2008)
15	Perairan Pulau Muna, Kabaena, Buton Sulawesi Tenggara	Limbah industri tambang nikel	<0,001	Aman	Ahmad (2009)
16	Pulau Ambon, Maluku	Input budidaya	0,01–0,03	Aman	Rumahlatu (2012)

unsur kadmium baik sebagai komponen utama maupun bahan komplementer yang berfungsi sebagai bahan perekat dan peningkat efektivitas senyawa racun yang dikandungnya (Agency 1998). Peningkatan penggunaan pestisida dan pupuk anorganik secara berlebihan secara terus menerus dalam kurun waktu lama menyebabkan kontaminasi kadmium pada lahan pertanian semakin meningkat (Schipper *et al.* 2011). Hal ini dapat dijumpai pada daerah Pengalengan, Karawang, Subang, Indramayu, Majalengka, dan Cirebon (Jawa Barat) serta Brebes dan Tegal (Jawa Tengah) (Tabel 2). Daerah-daerah tersebut merupakan daerah pertanian intensif. Petani menanam padi atau sayuran secara terus menerus tanpa memberakan lahannya sehingga input pupuk dan pestisida kimia semakin meningkat. Penggunaan lahan tanpa kondisi bera juga menyebabkan siklus hidup hama tidak terputus yang akhirnya meningkatkan frekuensi dan volume penggunaan pestisida. Peningkatan penggunaan pupuk dan pestisida kimia menyebabkan konsentrasi kadmium dalam tanah meningkat.

Sumber pencemaran kadmium lainnya adalah pemukiman penduduk dan aktivitas manusia yang menggunakan dan menghasilkan produk industri (Gallego *et al.* 2012), sampah rumah tangga maupun sampah industri seperti sampah plastik, serat sintetik, semen, baja, cat, keramik, dan minyak pelumas adalah sumber pencemaran pada daerah pemukiman (Anonimous 2014). Kontribusi kontaminasi sampah rumah tangga maupun sampah industri cukup besar karena pengelolannya belum dilakukan secara baik sesuai standar pengelolaan limbah. Sebagian sampah industri perumahan maupun sampah rumah tangga dibuang ke sungai dan masuk melalui jaringan irigasi menuju lahan pertanian. Pembuangan sampah rumah tangga ke aliran sungai terjadi hampir di semua wilayah Indonesia.

Kadar kadmium di wilayah perairan atau lahan pertanian di Indonesia bervariasi 0,001 hingga 9,690 ppm (Tabel 2). Beberapa daerah tingkat cemarannya di bawah batas maksimum yang diperbolehkan, berarti masih dalam keadaan normal atau aman, sedangkan beberapa daerah lainnya sudah melebihi ambang batas yang diperbolehkan. Tingkat cemaran pada daerah padat industri, aktivitas pertanian intensif, dan padat penduduk cenderung lebih tinggi dibanding daerah dengan aktivitas pertanian kurang intensif, serta jumlah industri dan

penduduk sedikit. Misalnya pencemaran di daerah Pengalengan Jawa Barat dan lahan sawah Rancaengkek Bandung lebih tinggi dibanding perairan pulau Muna Sulawesi Tenggara dan DAS Pangkajene Sulawesi Selatan (Tabel 2).

Meskipun lahan pertanian di beberapa daerah di Indonesia mengandung kadmium di atas ambang batas (Tabel 3) tetapi masih lebih rendah dibandingkan dengan pencemaran di negara lain. Di Distrik Tiexi Shengyang China, kadar kadmium telah mencapai 30 ppm (Ren *et al.* 2014) sedangkan di Eropa, konsentrasi kadmium berkisar antara 0,004 ppm hingga 14 ppm. Konsentrasi kadmium terendah di Eropa terjadi di Austria, Spanyol, dan Portugal sedangkan konsentrasi tertinggi terjadi di Yunani (Pan *et al.* 2010).

PENCEMARAN KADMIUM PADA TANAMAN

Pengaruh pencemaran kadmium pada tanaman sulit terdeteksi apabila hanya diukur dari laju pertumbuhan tanaman dan hasil tanaman. Tanaman yang tumbuh pada lahan terkontaminasi umumnya masih dapat tumbuh normal, tetapi laju fisiologi tanamannya telah berubah. Perubahan tersebut terlihat pada aktivitas metabolisme dan kandungan kadmium

Tabel 3. Persyaratan kimia air berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 907/ Menkes/SK/VII/2002.

No. Unsur	Rumus kimia	Kadar maksimum (mg/l)	
1	Antimon	Sb	0,005
2	Air Raksa	Hg	0,001
3	Arsenic	As	0,010
4	Barium	Ba	0,700
5	Boron	B	0,300
6	Kadmium	Cd	0,003
7	Kadmium (Valensi 6)	Cd	0,050
8	Tembaga	Cu	2,000
9	Sianida	Cn	0,070
10	Flourida	F	1,500
11	Timbal	Pb	0,010
12	Molydenum	Mo	0,070
13	Nikel	Ni	0,020
14	Nitrat	NO ₃	50,000
15	Nitrit	NO ₂	3,000
16	Selenium	Se	0,010

pada jaringan tanaman. Tanaman yang tumbuh pada lahan tercemar kadmium (12 ppm Cd), pertumbuhannya normal tetapi aktivitas enzim seperti *superoxide dismutase* (SOD), *catalase* (CAT), *peroxidase* (POD) mulai menurun (Li *et al.* 2015). Pencemaran kadmium mengurangi kandungan klorofil, menghambat aktivitas enzim *ribulose-1,5-bisphosphate* (RuBP) dan transfer elektron, serta menurunkan efisiensi kuantum dan fotokimia pada fotosintesis-II (Deng *et al.* 2014).

Pencemaran semakin parah dengan terakumulasinya kadmium pada bagian tanaman yang dikonsumsi manusia seperti daun dan biji. Standar keamanan pangan mensyaratkan kadar kadmium pada bagian tanaman yang dikonsumsi manusia harus di bawah batas konsentrasi maksimum. Batas maksimum yang diperbolehkan untuk sereal kedelai, umbi, dan beras atau tepung beras berturut-turut 0,1 ppm, 0,2 ppm dan 0,4 ppm (SNI: 7383:2009).

Di daerah China Selatan, kadar kadmium pada lahan pertanian berkisar antara 0,12–2,16 ppm. Pada taraf ini akumulasi kadmium pada biji kedelai mencapai 0,11–0,91 ppm atau sebesar 3,9% (Zhao *et al.* 2014). Pada daerah lainnya dengan konsentrasi kadmium tanah 130 ppb menyebabkan akumulasi kadmium dalam biji kedelai mencapai 23 ppb atau sebesar 17%. Apabila tingkat cemaran di Indonesia tertinggi mencapai 9 ppm (Sutono dan Utami 2014) dan akumulasi kadmium pada tanaman kedelai misalkan mencapai 3,9–17% maka kadar kadmium pada biji kedelai dapat mencapai 0,35–1,59 ppm. Tingkat akumulasi ini sangat tinggi melebihi batas maksimum standar keamanan pangan.

Meskipun tingkat cemaran kadmium pada lahan pertanian belum semua melebihi ambang batas diperbolehkan namun harus tetap diwaspadai. Peningkatan aktivitas pertanian berupa input budidaya dapat meningkatkan konsentrasi kadmium dalam tanah. Pemanfaatan hasil tanaman pangan berkadar kadmium rendah secara terus menerus tetap dapat membahayakan kesehatan masyarakat.

UPAYA MENGATASI PENCEMARAN KADMIUM

Pemahaman tentang keberadaan dan sumber pencemar kadmium pada lahan pertanian dan perairan di Indonesia, serta tingkat akumulasi maksimum yang diperbolehkan pada organ tanaman sebagai bahan pangan dapat

menjadi bahan pertimbangan dalam meminimalkan dampak negatif kontaminasi kadmium pada lahan pertanian. Upaya untuk mengurangi tingkat cemaran dapat dilakukan melalui fisiokimia konvensional, bioremediasi, minimalisasi input budidaya yang mengandung kadmium tinggi, pengolahan tanah minimal, pengelolaan air irigasi, dan penggunaan tanaman toleran cekaman kadmium.

Metode Fisiokimia

Metode fisiokimia konvensional dilakukan dengan menggunakan senyawa kimia pada lahan terkontaminasi, yaitu pemberian ekstrak pelarut yang dapat bereaksi dengan kadmium melalui pertukaran ion, osmosis terbalik, dan perlakuan elektrokimia. Senyawa kimia yang dapat diaplikasikan antara lain ion litium (Yun dan Volesky 2003). Proses remediasi menggunakan unsur litium lebih cepat dan efektif untuk lahan sempit dengan tingkat kontaminasi tinggi. Metode ini kurang efektif jika diaplikasikan pada lahan yang luas dan tingkat kontaminasi rendah karena membutuhkan biaya sangat besar. Unsur lain yang dapat dimanfaatkan untuk menghambat aktivitas kadmium adalah silikon (Si). Pemberian Si pada tanaman kacang tanah menghambat transportasi kadmium dari akar ke tunas, mengurangi akumulasi kadmium pada jaringan organ sel daun, dan meningkatkan enzim antioksidan SOD, POD, dan CAT di perakaran (Shi *et al.* 2010). Penggunaan kapur kalsium (CaCO_3) pada lahan pertanian dapat mengurangi kelarutan ion kadmium dalam tanah sehingga mengurangi jumlah yang diserap tanaman (Hong *et al.* 2011; Andosch *et al.* 2012).

Bioremediasi

Bahan organik seperti kotoran hewan, pupuk kompos, sisa pelapukan tanaman, dan pupuk organik dapat digunakan sebagai amelioran pada lahan tercemar. Berbagai senyawa organik pada bahan organik dapat mengikat ion kadmium sehingga mobilitasnya rendah. Kemampuan bahan organik dalam mengikat kadmium berbeda-beda tergantung komposisinya (Tejada 2009). Pemberian bahan organik secara terus menerus dapat menurunkan laju penyerapan kadmium pada tanaman. Misalnya pemberian limbah organik, kotoran hewan, dan pupuk sampah organik kota setiap dua tahun selama dua belas tahun menurunkan kadar kadmium terserap tanaman dari konsentrasi 0,07, 0,07, dan 0,045 mg/kg menjadi 0,05, 0,04

dan 0,038 mg/kg bobot kering tanaman (Legind *et al.* 2012).

Beberapa jenis bakteri gram negatif dapat dimanfaatkan untuk remediasi lahan terkontaminasi (Glick 2010). Dinding sel bakteri gram negatif yang tersusun atas *peptidoglycan*, *phospholipids* dan *lipopolisakarida* dapat mengikat logam kadmium. Mekanisme pengikatan kadmium terjadi melalui satu atau kombinasi reaksi pertukaran ion berupa kompleksitas, koordinasi, absorpsi, interaksi elektrostatis, chelation, dan mikropresipitasi. Pada kondisi bakteri tidak hidup, pengikatan kadmium terjadi secara pasif melalui mekanisme fisiokimia. Beberapa contoh bakteri yang dapat mengikat antara lain *Acidiphilium symbioticum* (Chakravarty dan Banerjee 2012), *Pseudomonas uorescens*, *Pseudomonas putida*, *Klebsiella planticola*, *Alcaligenes xylosoxidans*, *Serratia liquefaciens*, *Comamonas testosterone* (Chovanová *et al.* 2004), dan *Pseudomonas aeruginosa* (Kermani *et al.* 2010). Bakteri dan cendawan juga dapat menyerap kadmium. Perbanyakkan atau aplikasi cendawan pada lahan terkontaminasi dapat memacu pencucian kadmium dalam tanah.

Beberapa jenis gulma seperti *Cyperus haspan*, *Echinochloa sp.*, *Cyperus kyllingia*, *Fimbristylis annua*, *Panicum repens*, *Mikania cordata*, *Sonchus arvensis* diidentifikasi dapat menyerap logam berat (Juhaeti *et al.* 2005). Apabila gulma dimanfaatkan sebagai bahan organik, kadmium yang terkandung dalam sisa tanaman terikat pada senyawa organik. Kondisi ini menyebabkan kadmium lebih stabil dalam tanah dan tidak mudah terambil kembali oleh tanaman berikutnya. Keadaan ini mengurangi risiko pencemaran kadmium pada tanaman. Metode ini dapat diterapkan pada lahan dengan kontaminasi berat dan tidak ditanami untuk sementara waktu tetapi kurang tepat jika diterapkan pada lahan budidaya yang dimanfaatkan secara terus menerus.

Tanaman kacang tanah dapat dimanfaatkan untuk bioremediasi kadmium. Penyerapan kadmium oleh kacang tanah pada konsentrasi 50–200 mg/kg paling tinggi (56–68 µg/tanaman) dibandingkan dengan tanaman Bunga Matahari (20–24 µg/tanaman), Sawi Hijau (5–25 µg/tanaman), Kedelai (11–15 µg/tanaman), Bunga Kesumba (11,5–14,9 µg/tanaman), Ganja (8–13 µg/tanaman), Jarak (4,9–11 µg/tanaman), dan *Linum usitatissimum* (2,4–3,9 µg/tanaman) (Shi dan Cai 2009). Akumulasi kadmium paling banyak terjadi di perakaran, kulit polong,

daun, dan batang sedangkan paling sedikit terjadi pada biji. Bioremediasi dengan kacang tanah sebaiknya dilakukan jika hasil tanaman kacang tanah untuk bahan baku bioenergi, bukan untuk pangan. Hasil tanaman kacang tanah yang tidak dimanfaatkan untuk bahan baku produksi bioenergi dapat dimanfaatkan untuk bahan baku pupuk organik karena logam berat yang terikat dalam organ tanaman akan lebih stabil sehingga tidak mudah ditranslokasikan kembali ke dalam tanaman berikutnya.

Pengolahan Tanah Minimal

Teknologi budidaya berupa pengolahan lahan minimal dapat membantu proses perbaikan lahan terkontaminasi. Pengolahan lahan yang dilakukan beberapa kali dalam satu musim tanam menyebabkan ion kadmium yang berada di lapisan bawah akan kembali naik ke atas permukaan tanah sehingga lebih tersedia bagi akar tanaman. Kadmium biji gandum yang ditanam pada lahan dengan olah minimal jumlahnya lebih rendah dibanding pada lahan olah konvensional (Gao dan Grant 2012). Selain itu kondisi tanah yang sangat porous karena pengolahan tanah berlebihan akan menyebabkan mobilitas ion kadmium semakin mudah.

Pengelolaan Air

Pengelolaan air irigasi dapat mengurangi kontaminasi kadmium. Air irigasi dapat didapatkan melalui embung atau kolam. Kolam dapat ditumbuhi tanaman air yang memiliki kemampuan menyerap ion kadmium seperti ganggang, *Groenlandia densa* (Yılmaz dan Parlak 2011). Aplikasi ekstrak pelarut kimia juga dapat dilakukan di kolam sehingga pengendapan kadmium terjadi di kolam.

Pengawasan Pemerintah

Kebijakan pemerintah sangat berperan penting dalam meminimalisasi kontaminasi kadmium pada lahan pertanian. Penegakan aturan yang tegas dan sanksi yang berat serta pengawasan intensif pemerintah terhadap pelaku industri dalam mengelola limbah akan mengurangi tingkat kontaminasi kadmium pada lahan pertanian.

Dari semua alternatif dalam remediasi kadmium di lahan pertanian, pemberian pupuk kandang dan kapur merupakan cara yang paling efisien untuk dilakukan. Selain ketersediaannya mudah didapatkan, aplikasi kedua bahan remediasi ini juga akan memperbaiki

kesuburan tanah baik secara fisika, kimia maupun biologi tanah. Pemberian pupuk kandang meningkatkan keragaman mikroorganisme tanah seperti bakteri, cacing, dan cendawan yang dapat menyerap kadmium sehingga kandungan kadmium dalam tanah lebih cepat berkurang atau lebih stabil karena sudah terikat pada senyawa organik.

KESIMPULAN

Pencemaran kadmium pada lahan pertanian di beberapa daerah di Indonesia telah melebihi ambang batas diperbolehkan, sehingga perlu mendapatkan perhatian serius baik oleh pelaku industri, petani, maupun pemerintah. Cemaran kadmium dapat dicegah melalui pengelolaan limbah industri secara baik, mengurangi input pupuk anorganik dan pestisida yang berlebihan, pengolahan tanah minimal, pengelolaan air, penanaman rumput penyerap logam berat, serta pengawasan ketat dari pemerintah. Metode pengendalian lahan terkontaminasi dapat dilakukan sesuai dengan tingkat cemaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Agency, E.P. 1998. Status of pesticides in registration, reregistration, and special review. USEP. Agency. Washington, D.C. Nat. Center for Environmental Publ. and Info. 462 pp.
- Ahmad, F. 2009. Tingkat pencemaran logam berat dalam air laut dan sedimen di perairan Pulau Muna, Kabaena, dan Buton Sulawesi Tenggara. *Jurnal Makara Sains*. 13(2):117–124.
- Andosch, M.A., M.J. Affenzeller, C. Lütz, U. Lütz-Meindl. 2012. A freshwater green alga under cadmium stress: Ameliorating calcium effects on ultrastructure and photosynthesis in the unicellular model. *J. of Plant Physiology*. 169: 1489–1500.
- Anonimous. 2014. Cadmium in the future. www.cadmium.org.
- Arbon, K.S., C.M. Christensen, W.A. Harvey, and S.J. Heggland. 2011. Cadmium exposure activates the ERK signaling pathway leading to altered osteoblast gene expression and apoptotic death in Saos-2 cells. *Food and Chem. Toxicology*. 50:198–205.
- Aripai, M., dan A. Daud. 2008. Analisis risiko paparan kadmium (Cd) pada air dan kerang putih (*Anadonta woodiana*) di Sungai Pangkajene tahun 2012. Universitas Hasanudin. 138 hlm.
- Chakravarty, R. and P.C. Banerjee. 2012. Mechanism of cadmium binding on the cell wall of an acidophilic bacterium. *Bioresource Tech*. 108:176–183.
- Chovanová, K., D. Sládeková, V. Kmet, J. Harichová, M. Proksova A. Puskarova, B. Polek, and P. Ferienc. 2004. Identification and characterization of eight Cadmium resistant bacterial isolates from a cadmium-contaminated sewage sludge. *Biologia Bratislava J*. 59(6):817–827.
- Deng, G., M. Li, H. Li, L. Yin, and W. Li. 2014. Exposure to cadmium causes declines in growth and photosynthesis in the endangered aquatic fern (*Ceratopteris pteridoides*). *Aquatic Botany J*. 112:23–32.
- Dezar, C.A., G.V. Fedrigo, and R.L. Chan. 2005. The promoter of the sunflower HD-Zip protein gene Hahb4 directs tissue-specific expression and is inducible by water stress, high salt concentrations and ABA. *Plant Science J*. 169(2): 447–456.
- Emilia, I., Suheryanto, dan Z. Hanafiah. 2013. Distribusi logam kadmium dalam air dan sedimen di Sungai Musi Kota Palembang. *J. Penelitian Sains*. 16(C):59–64.
- Fang, B. and X. Zhu. 2014. High content of five heavy metals in four fruits: Evidence from a case study of Pujiang County, Zhejiang Province, China. *Food Control*. 39:62–67.
- Friberg, L., C.G. Elinder, and T. Kjellstroem. 1992. Cadmium. Geneva, the United Nations Environment Programme, the Internat. Labour Organisation, the World Health Organization. Geneva. 280 pp.
- Gallego, S.M., L.B. Pena, R.A. Barcia, C.E. Azpilicueta, M.F. Iannone, E.P. Rosales, M.S. Zawoznik, M.D. Groppa, and M.P. Benavides. 2012. Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: Insight into regulatory mechanisms. *Environ. and Exp. Botany*. 83:33–46.
- Gao, X. and C.A. Grant. 2012. Cadmium and zinc concentration in grain of durum wheat in relation to phosphorus fertilization, crop sequence and tillage management. *Appl. and Environ. Soil Sci*. 10(1):1–10.
- Glick, B.R. 2010. Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. *Biotechnology Advances*. 28: 367–374.
- Hartono, A.S. Siregar, dan N.V. Hidayati. 2013. Status pencemaran perairan Plawangan Timur, Segara Anakan Cilacap, berdasarkan kandungan logam berat Cd dalam air dan sedimen. *Omni-Akuatika XII*(16):15–27.
- Hong, K.S., H.M. Lee, J.S. Bae, M.G. Ha, J.S. Jin, T.E. Hong, and E.D. Jeong. 2011. Removal of heavy metal ions by using calcium carbonate extracted from starfish treated by protease and amylase. *J. of Analytical Sci. and Tech*. 2(2): 75–82.
- Indarwati T. dan I.W. Arthana. 2007. Analisis kadar logam berat air Sungai Sekonyer di Kabupaten Kotawaringin Barat Kalimantan Tengah. *Eco-trophic J. of Environ. Sci*. 2(2):1–10.

- Juhaeti, T., F. Syarif, and N. Hidayati. 2005. Inventarization of potential plant for phytoremediation on degraded land and water mined. *Biodiversitas*. 6(1):31–33.
- Kermani, A.J.N., M.F. Ghasemi, A. Khosravan, A. Farahmand, and A. Shakibaie. 2010. Bacteria isolated from active sludge of industrial effluent. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.* 7(4):279–286.
- Kusdianti, K., R. Solihat, H. Hafisah, dan E. Trisnawati. 2014. Analisis pertumbuhan tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) pada tanah yang terakumulasi logam berat kadmium (Cd). *Bioslogos*. 4(1):26–32.
- Kusumaningrum, H. P., M. Zainuri, dan B. Raharjo. 2012. Analisis kandungan kadmium (Cd) dalam tanaman bawang merah dari Tegal. *J. Sains dan Matematika*. 20(4):98–102.
- Legind, C.N., A. Rein, J. Serre, V. Brochier, C.S. Haudin, P. Cambier, and S. Trapp. 2012. Simultaneous simulations of uptake in plants and leaching to groundwater of cadmium and lead for arable land amended with compost or farmyard manure. *Plos One*. 7(10):1–13.
- Li, C., C. Yan, Y. Liu, T. Zhang, S. Wan, dan S. Shan. 2015. Phytotoxicity of cadmium on peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in growing peanut (*Arachis hypogaea* L.). *African J. of Biotech.* 14(13):1151–1157.
- Liu, Y. and D. M. Templeton. 2007. Cadmium activates CaMK-II and initiates CaMK-II-dependent apoptosis in mesangial cells. *FEBS Letters*. 581:1481–1486.
- Morrow H. 2001. Cadmium and Cadmium alloys. *In Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. John Wiley and Sons Inc. 471–507.
- Oktaria, N., T.A. Hanifah, dan S. Anita. 2014. Analisis kandungan logam merkuri, kadmium, timbal dan sianida pada aliran Sungai Indragiri, Kabupaten Indragiri Hulu. *J. Online Mahasiswa (JOM) Bidang Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, Oktaria. 2(1):83–90.
- Pan, J., J.A. Plant, N. Voulvoulis, C.J. Oates, and C. Ihlenfeld. 2010. Cadmium levels in Europe: implications for human health. *Environ. Geochem. and Health* 32(1):1–12.
- Pardo, B.S. R.O. Carpena, R. Carpena, and P. Zornoza. 2013. Kadmium in white lupin nodules: Impact on nitrogen and carbon metabolism. *J. of Plant Physiol.* 170:265–271.
- Portier, C.J. 2012. Toxicological profile for cadmium. *Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. Georgia. 487 pp.
- Prawita, A. 2008. Kandungan logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) dalam air Kali Wonokromo. *Majalah Farmasi Airlangga*. 6(1):29–31.
- Ren, W., B. Xue, Y. Geng, L. sun, Z. Ma, Y. Zhang, B. Mitchell, and L. Zhang. 2014. Inventorying heavy metal pollution in redeveloped brownfield and its policy contribution: Case study from Tiexi District, Shenyang, China. *Land Use Policy*. 38:138–146.
- Ridwan, A., Sofarini, dan I.R. Dini. 2011. Studi analisis pengujian logam berat pada badan air, biota dan sedimen di perairan muara DAS Barito. *Bumi Lestari J. of Environ.* 10(1):28–37.
- Rumahlatu, D. 2012. Konsentrasi logam berat kadmium pada air, sedimen dan *Deadema setosum* (*Echinodermata, Echinoidea*) di Perairan Pulau Ambon. *J. Ilmu Kelautan* 16(2):78–85.
- Shi, G., and Q. Cai, 2009. Cadmium tolerance and accumulation in eight potential energy crops. *Biotechnology Advances*. 27(5):555–561.
- Schipper, L.A., G.P. Sparling, L.M. Fisk, M.B. Dodd, I.L. Power, and R.A. Litter. 2011. Rates of accumulation of cadmium and uranium in a New Zealand hill farm soil as a result of long-term use of phosphate fertilizer. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 144:95–101.
- Shi, G., Q. Cai, C. Liu, and L. Wu. 2010. Silicon alleviates cadmium toxicity in peanut plants in relation to cadmium distribution and stimulation of antioxidative enzymes. *Plant Growth Regulation*. 61(1):45–52.
- Smiciklas, I.D. 2003. Cadmium immobilization by hydroxyapatite. *Chem Industry* 57(3):101–106.
- Badan Standardisasi Nasional. 2009. Batas maksimum cemaran mikroba dalam pangan SNI. 7388:2009. 41 hlm.
- Sulistiyanto, W. dan D. Astuti. 2009. Analisis kualitas air Sungai Bengawan Solo wilayah Kota Surakarta. *J. Ilmu Kesehatan*. 4(8):59–72.
- Sundra, I.K. 2011. Kualitas perairan pantai di Kabupaten Badung yang dimanfaatkan sebagai aktivitas pariwisata. *Bumi Lestari J. of Environ.* 11(2):227–233.
- Surtipanti, S., H. Rasyid, J. Mellawati, S. Yumiarti, dan S. Suwirna. 1996. Studi tentang kandungan logam berat di tanah sawah. *Pros. Pertemuan dan Presentasi Ilmiah* 33(25):374–378.
- Susana, R. 2010. Kajian kandungan kadmium (Cd) dalam tanah pada areal pertanian di Kecamatan Pontianak Utara Kota Pontianak. *FP UGM*. 118 hlm.
- Sutono dan U. Kurnia. 2014. Identifikasi kerusakan lahan sawah di Rancaengkek kabupaten Bandung Jawa Barat. *Pros. Balai Penelitian Tanah*. 283–296.
- Tejada, M. 2009. Application of different organic wastes in a soil polluted by kadmium: Effects on soil biological properties. *Geoderma*. 153:254–268.

- Tongesayi, T. dan S. Tongesayi. 2014. The New inconvenient truth: Global contamination of food by chemical pollutants, particularly heavy metals and metalloids. *In Chemistry of Food, Food Supplements, and Food Contact Materials: from production to plate*. Am. Chem. Soc. 1159:15–40.
- Wang, Z. H. Wang, C. Li, X. He, and G. Liu. 2015. On site measurement cadmium and lead in soil using a disposable bismuth/ionic liquid modified electrochemical sensor. *Internat. Agricul. Eng. J.* 24(3):127–134.
- Xue, Z.C., H.Y. Gao, and L.T. Zhang. 2013. Effects of cadmium on growth, photosynthetic rate and chlorophyll content in leaves of soybean seedlings. *Biologia Plantarum* 57(3):587–590.
- Xue, Z., H. Gao, and S. Zhao. 2014. Effects of cadmium on the photosynthetic activity in mature and young leaves of soybean plants. *Environ. Sci. and Pollution Res.* 21(6):4656–4664.
- Yilmaz, D.D. and K.U. Parlak. 2011. Changes in proline accumulation and antioxidative enzyme activities in *Groenlandia densa* under cadmium stress. *Ecological Indicators* 11(2):417–423.
- Yun, Y.S., and B. Volesky. 2003. Modeling of lithium interference in cadmium biosorption. *Environ. Sci. and Tech.* 37(16):3601–3608.
- Zhao, Y., X. Fang, Y. Mu, Y. Cheng, Q. Ma, H. Nian, and C. Yang. 2014. Metal pollution (Cd, Pb, Zn, and As) in agricultural soils and soybean, *glycine max*, in Southern China. *Bull. of Environ. Contamination and Toxicology* 92(4):427–432.
-