

KAJIAN PENCEMARAN LOGAM BERAT PADA LAHAN SAWAH DI KAWASAN INDUSTRI KABUPATEN SIDOARJO

Uswatun Khasanah ¹⁾, Wanti Mindari ^{2)*}, Penta Suryaminarsih ³⁾.

^{1,2,3)}Program Studi Magister Agroteknologi, Fakultas Pertanian, UPN Veteran Jawa Timur.

Jl. Rungkut Madya Gunung Anyar, kodepos 60294, Indonesia, 031- 870 6369

* Penulis Korespondensi: Wanti Mindari E-mail: wanti_m@upnjatim.ac.id

Abstrak

Keberadaan industri berdampak negatif terhadap kualitas lingkungan seperti pencemaran hasil pertanian yang disebabkan oleh lahan sawah yang tercemar. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kontaminasi logam berat dari limbah industri di persawahan. Penentuan lokasi penelitian melalui metode purposive sampling, dengan kriteria dekat dengan industri, rumah penduduk, akses jalan raya, dan irigasi dari sungai yang telah tercemar limbah industri. Berdasarkan kriteria tersebut diambil 5 sampel tanah dari masing-masing 6 lokasi, dengan total 30 sampel. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0-20 cm, ditempatkan dalam kantong polietilen dan dipindahkan ke laboratorium untuk dianalisis kandungan logam berat dengan metode AAS, juga dianalisis sifat fisik dan kimia tanah lainnya. Data diolah dengan uji statistik non parametrik. Hasil penelitian didapat tekstur tanah berupa lempung berdebu, pH tanah 6,19, C-organik 1,58% dan KTK 5.96 cmol/kg. Kandungan logam berat tanah berkisar: Pb(1,3-1,65 mg/kg), Cd(0,14-0,48 mg/kg), Hg(0,58-1,04 mg/kg), Zn(36,2-125,16 mg/kg), Cu(33,91-69,26 mg/kg), Mn(662,11-942,56 mg/kg), dan Fe(1342,72-1738,71 mg/kg). Berdasarkan hasil analisis model indeks, penelitian menunjukkan bahwa tanah tercemar oleh Hg dan Pb pada kelas sedang hingga tinggi namun tidak menimbulkan potensi risiko ekologis terhadap lingkungan.

Kata kunci: logam berat; polusi industri; persawahan; kontaminasi tanah

ASSESSMENT OF HEAVY METALS POLLUTION ON RICE FIELD IN SIDOARJO REGENCY INDUSTRIAL AREA

Abstract

The existence of the industry has a negative impact on agricultural contaminate caused by polluted rice fields. This study aims to check heavy metals from industrial waste in rice fields. Determining the research site using purposive sampling method, with criteria close to industry, houses, road access, and irrigation from rivers. Based on the criteria, 5 soil samples take from 6 locations, totaling 30 samples. we took the soil at a depth of 0-20 cm, placed it in a polyethylene bag and transferred it to the laboratory for analysis heavy metal content by AAS method, also analyzed the physical and chemical soil. The data process using non-parametric statistical tests. The results showed that the soil texture was in the form of dusty clay, soil pH 6.19, C-organic 1.58% and CEC 5.96 cmol/kg. Heavy earth metal content ranges from: Pb (1.3-1.65 mg/kg), Cd (0.14-0.48 mg/g), Hg (0.58-1.04 mg/kg), Zn (36.2-125.16 mg/kg), Cu (33.91-69.26 mg/kg), Mn (662.11-942.56 mg/kg), and Fe (1342.72-1738.71 mg/kg). Based on the results of the index model analysis, the study shows that Hg and Pb pollute in category medium to high but does not pose an ecological risk to the environment.

Key words: heavy metals; industrial pollution; rice field; soil contaminant.

PENDAHULUAN

Peningkatan perkembangan industri di masa depan dapat berdampak negatif pada pertanian, termasuk adanya limbah industri yang mencemari sungai dan mencemari tanah (Zwolak, Sarzyńska, Szpyrka, & Stawarczyk, 2019). Pertanian berkon-

tribusi pada penyebaran dan reintroduksi polutan tersebut ke lingkungan perairan melalui penggunaan kembali air limbah untuk irigasi (Chen dkk., 2005; Singh dkk., 2004). Diperkirakan 35,9 Mha lahan pertanian tunduk pada penggunaan tidak langsung air limbah Thebo, Drechsel, Lambin, & Nelson, 2017; Zhang dan Shen, 2019).

Pencemaran lingkungan dapat menurunkan kesehatan tanah, mempengaruhi kehidupan petani dan merusak ekosistem lokal. Banyak aktivitas industri yang merugikan kawasan pertanian, menurunkan kualitas dan produktivitas tanah (Abdu, Abdullahi, & Abdulkadir, 2017). Logam berat yang mencemari tanah akan menyebabkan penurunan pH tanah sehingga membuat tanah menjadi asam (Napitupulu, 2008; Adamczyk-Szabela, Markiewicz, & Wolf, 2015). Selama bertahun-tahun, kualitas tanah di daerah ini menurun karena mengandung logam berat dalam jumlah besar. Logam berat yang ada di dalam tanah akan terserap dan terakumulasi oleh tanaman (Tangahu, dkk, 2011).

Karena tumbuhan yang mengandung logam berat akan berbahaya jika dikonsumsi oleh manusia (Satpathy, Reddy, & Dhal, 2014; Oliver & Gregory, 2015; Zwolak dkk., 2019). Diperlukan perbaikan sifat fisik dan kimia tanah di untuk mengurangi risiko terkait, meningkatkan produktivitas tanah, dan meningkatkan ketahanan pangan (Wuana & Okieimen, 2011). Limbah industri memegang peranan paling penting dalam berkontribusi terhadap pencemaran, terutama pencemaran logam berat. Banyak limbah berbahaya yang mengandung bahan kimia kaya logam berat yang dapat mencemari lahan pertanian (Rosariastuti & Barokah, 2018).

Dalam penelitian sebelumnya, Dini, Rachmadiarti, & Kuntjoro (2013) mencatat bahwa limbah cair industri batik Sidokare di Sidoarjo mengandung Pb 0,173 mg / kg, Cd 0,009 mg / kg, dan Cr 0,004 mg / kg. sesuai batas maksimum pencemaran Pb. Seperti yang dikemukakan oleh Suganda dkk. (2002), tanah yang mengandung bahan kimia dengan konsentrasi di atas ambang batas mengandung bahan kimia berbahaya atau logam berat. Jika lahan ditanami, tanaman akan menumpuk bahan kimia berbahaya, yang dapat berdampak negatif bagi kesehatan manusia dan hewan yang membutuhkan tanaman tersebut. Produk pangan yang disetujui, diimpor, dan diedarkan di wilayah Indonesia harus memenuhi persyaratan keamanan, mutu, dan gizi pangan, termasuk persyaratan batas maksimal.

Contoh jenis logam berat dalam makanan antara lain: arsen (As) 0,5 mg/kg, timbal (Pb) 0,3 mg/kg, kadmium (Cd) 0,1 mg/kg, merkuri (Hg) 0,05 mg/kg, dan timbal (Zn) 40 mg/kg (Badan Pengawas Obat dan Makanan Indonesia, 2018). Menurut Darmono (2001) dan Mursyidin (2006), kadmium (Cd) berisiko tinggi terhadap kesehatan hati dan ginjal, sedangkan Pb menyebabkan kematian janin dan kelahiran prematur, berat badan lahir rendah, bahkan keguguran pada ibu hamil. Cu, Zn, Mn, dan Fe merupakan mikronutrien esensial yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah kecil tetapi terdapat di dalam tanah dalam jumlah banyak akan menyebabkan keracunan (Tripathi dkk., 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat pencemaran yang terjadi pada lahan pertanian di

sekitar kawasan industri dalam upaya pengendalian untuk menurunkan kadar logam berat di dalam tanah agar tidak mencemari tanaman dan mencegah peningkatan resiko kesehatan manusia.

METODE PENELITIAN

Bahan

Sampel tanah sawah dekat area industri kabupaten Sidoarjo, larutan ekstraksi EDTANa₂ dan larutan ekstraksi Aqua Regia.

Alat

Alat yang harus disiapkan antara lain sekop, penggarris, ring sampel tanah, wadah sampel tanah plastik, timbangan analitik, labu erlenmeyer, pipet, gelas ukur, botol sampel 50 ml, rotary shaker, centrifuge, kertas saring, mesin spektrofotometri serapan atom, dan komputer yang dilengkapi perangkat lunak Excel.

Prosedur Pengambilan sampel

Pengambilan sampel tanah dimulai dengan penentuan lokasi melalui metode purposive sampling. Untuk penelitian ini, kriteria lokasi pengambilan sampel adalah kedekatan dengan industri dan rumah penduduk, akses jalan raya, dan irigasi dari sungai yang telah tercemar limbah industri. Berdasarkan kriteria tersebut diambil 5 sampel tanah dari masing-masing 6 lokasi, dengan total 30 sampel. Penentuan kode lokasi sampling berdasarkan jenis industri/ pabrik terdekat dengan lokasi pengambilan sampel, antara lain : industri plastik (TR), industri farmasi (TF), industri pakan ternak (TP), industri kertas (TC), Industri Tekstil (TT), industri Kulit (TK).

Pada lahan sawah terpilih dilakukan pengambilan sampel dengan teknik acak sederhana, titik sampel tersebar dengan jarak antar titik kurang lebih 50 m dan berjarak kurang lebih 200 m dari pembuangan limbah industri. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0-20 cm. Sampel ini ditempatkan dalam kantong polietilen dan dipindahkan ke laboratorium untuk dianalisis kandungan logam berat Pb, Cd, Hg, Zn, Cu, Mn dan Fe dengan Spektrometri Serapan Atom (AAS).

Preparasi sampel tanah

Sampel tanah dikeringkan dengan udara, digiling menjadi bubuk dalam mortar porselen, dan melewati saringan nilon 2 mm untuk menghilangkan akar, serpihan, kaca, batu, dan kotoran lainnya. Analisis fisika-kimia menggunakan sampel tanah yang telah dihaluskan. PH tanah diukur dengan menggunakan potensiometer untuk mengetahui derajat keasaman tanah atau alkalinitas yang tersuspensi dalam air.

Kami menilai tekstur tanah menggunakan metode pipet untuk menentukan persentase pasir, lanau, dan lempung. Nilai bahan organik (OM) ditentukan dengan metode Walkey-Black. Kapasitas tukar kation (KTK) ditentukan dengan NH₄CO₃ pH 7.0. Status logam berat tanah ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA) untuk Hg, Pb, Cd, Cu, Mn, Zn, dan Fe. Data disajikan sebagai rata-rata dari lima pengukuran sampel. Selanjutnya dilakukan evaluasi status kontaminasi / pencemaran logam berat pada tanah dengan mengikuti prosedur Lacatusu (2000), indeks geoakumulasi (Igeo) yang dikemukakan oleh Muller (1980) dan faktor resiko ekologi menurut Hankanson (1981).

Model indeks polusi

Faktor Kontaminasi (Cf): Standar yang digunakan untuk interpretasi nilai faktor kontaminasi diadopsi dari Lacatusu (2000). Faktor pencemaran digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran tanah oleh logam berat. Cf adalah perbandingan konsentrasi logam berat dengan nilai ambang batas, yang berkisar antara 1-6. Faktor kontaminasi diberikan dalam Persamaan. 1:

$$(Cf) = C_m / C_b \dots\dots\dots (1)$$

Dimana C_m adalah konsentrasi logam dan C_b adalah nilai ambang batas. Kisaran signifikansi interval kontaminasi diberikan pada Tabel 2.

Indeks polusi (PI): Indeks polusi adalah ukuran tingkat kontaminasi keseluruhan di stasiun sampel. Prosedur Tomlinson dkk. digunakan untuk menghitung indeks polusi (PI) untuk setiap situs seperti yang diberikan dalam Persamaan. 2:

$$PI = (Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times \dots\dots C_{fn})^{1/n} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana n adalah Jumlah logam dan Cf adalah faktor kontaminasi. Cf adalah konsentrasi logam dalam tanah / nilai ambang logam. PI adalah digunakan dalam penilaian polusi logam berat. Rentang polusi dan signifikansinya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Makna Nilai Indeks Cf/PI

| Cf | Tingkat kontaminasi | PI | Tingkat pencemaran |
|-----------|---------------------|---------|--------------------|
| <0,1 | Sangat Ringan | 1,1-2,0 | Sangat Ringan |
| 0,10-0,25 | Ringan | 2,0-4,0 | Ringan |
| 0,26-0,5 | Sedang | 4,1-8,0 | Sedang |
| 0,51-0,75 | Berat | 8,1-16 | Berat |
| 0,76-1,00 | Sangat Berat | >16,0 | Sangat Berat |

Sumber : Lacatusu (2000)

Indeks Geo-akumulasi (Igeo): Rumus ini diusulkan oleh Muller (1969) dan telah diterapkan oleh Todorova dkk. (2016), Wang dkk. (2016); Hassaan dkk. (2016), dan Bhutiani dkk. (2017). Di sini, kami menggunakannya untuk menghitung nilai indeks geoakumulasi (Igeo) untuk berbagai logam seperti pada Persamaan. 3:

$$Igeo = \text{Log}_2 (C_n / 1.5 \text{ Miliar}) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana C_n adalah konsentrasi unsur dalam tanah, B_n adalah ambang batas geokimia untuk unsur atau rata-rata unsur dunia dalam serpih dan logam berat, dan faktor 1.5 digunakan untuk memperhitungkan kemungkinan variasi data ambang karena litologi. variasi. Ada tujuh kelas (mulai dari 0-6) dari Igeo biasanya digunakan untuk menilai tingkat beban polutan terakumulasi antropogenik atau geogenik (Bhutiani dkk., 2017). Menurut Guan dkk. (2014), Igeo cocok untuk menilai logam berat dalam tanah yang terkontaminasi oleh kegiatan industri. Indeks ini mengklasifikasikan tingkat pencemaran tanah. Kelas 7 Igeo adalah:

- Kelas 0 = Igeo <0 (tidak tercemar)
- Kelas 1 = 0 <Igeo <1 (Tidak Tercemar hingga Sedang)
- Kelas 2 = 1 <Igeo <2 (pencemaran sedang)
- Kelas 3 = 2 <Igeo <3 (Pencemaran Sedang hingga tinggi)
- Kelas 4 = 3 <Igeo <4 (Pencemaran tinggi)
- Kelas 5 = 4 <Igeo <5 (Pencemaran sangat tinggi)
- Kelas 6 = 5 <Igeo >6 (Sangat tercemar)

Setiap nilai yang termasuk dalam Kelas 6 dan di atasnya diklasifikasikan sebagai kelas terbuka. Di kelas, nilai elemen bisa berkali-kali lebih besar dari nilai ambang logam atau elemen. Nilai ambang yang diambil didasarkan pada nilai rata-rata dunia dalam serpih (mg/kg) logam yang ditentukan dalam penelitian tersebut. Nilai tersebut adalah Fe = 42000, Zn = 62, Pb = 25, Hg = 0.1, Cu =14, Mn = 418, dan Cd = 1.1 (Alloway, 2012).

Faktor Resiko Ekologi

Faktor risiko ekologi (FRE), yang dikemukakan oleh Hakanson (1980), adalah ekspresi kuantitatif dari potensi risiko ekologi dari suatu kontaminan dan didefinisikan sebagai rasio faktor respon toksik terhadap faktor kontaminasi untuk kontaminan tertentu. atau polutan. Lihat Persamaan 4:

$$Er = Tr \times Cf \dots\dots\dots (4)$$

Dimana Tr adalah faktor respon toksik untuk kontaminan tertentu dan Cf adalah faktor kontaminasi. Istilah yang digunakan untuk menggambarkan faktor risiko ekologi dibagi menjadi lima kategori

- Er <40 (Potensi risiko ekologis rendah)
- 40 <Er <80 (Potensi risiko ekologis sedang)
- 80 <Er <160 (Potensi risiko ekologis yang cukup besar)
- 160 <Er <320 (Risiko ekologis potensial tinggi)
- Er > 320 (Risiko ekologis sangat tinggi)

Faktor risiko dimaksudkan sebagai alat diagnostik untuk pengendalian pencemaran tanah dari lingkungan yang tercemar logam berat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat fisik dan kimia tanah

Tekstur tanah, kapasitas tukar kation (KTK), pH, dan bahan organik dapat mempengaruhi keberadaan logam berat di dalam tanah. Tekstur tanah liat dan bahan organik dapat menentukan daya serap unsur hara atau logam berat pada muatan negatif atau terpaku pada struktur aluminat silikat interlayer. Tekstur tanah liat dapat mempengaruhi daya tarik pada muatan negatif seperti org-C, sedangkan tekstur lanau menarik lebih sedikit ion daripada tanah liat. Jumlah dan jenis tekstur tanah menentukan besarnya adsorpsi ion. Jumlah kation pada muatan negatif sama dengan KTK.

Logam berat sangat erat kaitannya dengan kadar bahan organik tanah dan pH tanah. Adanya bahan organik akan menyebabkan chelation pada kation logam sehingga unsur hara menjadi tersedia bagi tanaman. Jika pH rendah, konsentrasi logam berat tinggi dan mudah diserap oleh tanaman. Kondisi ini juga mengindikasikan kemungkinan pengaruh terhadap perkembangan mikroorganisme (Napitupulu, 2008). Analisis sifat fisik dan kimia tanah pada persawahan dekat industri di Kabupaten Sidoarjo disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data analisa kimia tanah pada persawahan dekat industri

| kode sampel | pH | C-org N | | C/N rasio | KTK (cmol/kg) |
|-------------|------------|---------|--------|-----------|---------------|
| | | (%) | | | |
| TR | 6.14 | 2.58 | 0.13 | 27.2 | 5.41 |
| TF | 6.36 | 2.37 | 0.13 | 20.8 | 4.97 |
| TP | 6.72 | 1.19 | 0.12 | 9.8 | 6.07 |
| TC | 5.71 | 0.96 | 0.11 | 8.8 | 6.61 |
| TT | 5.85 | 1.52 | 0.15 | 10 | 5.42 |
| TK | 6.35 | 0.89 | 0.1 | 0.1 | 7.26 |
| Total | 6.19 | 1.58 | 0.12 | 0.12 | 5.96 |
| Kriteria | Agak masam | rendah | rendah | rendah | rendah |

Catatan: kriteria penilaian sifat kimia tanah yang dikembangkan oleh Balittanah (2009)

Berdasarkan kriteria penilaian sifat kimia tanah yang dikembangkan oleh Balittanah (2009), bahwa tanah persawahan yang dekat dengan lahan industri plastik, farmasi, kertas, tekstil, manufaktur, dan kulit memiliki keasaman rendah, bereaksi dengan nilai pH 5,71 - 6,36, sedangkan tanah di sekitar industri pakan ternak netral (pH 6,72). Dengan demikian, tanah di persawahan dekat industri di Kabupaten Sidoarjo berkisar dari agak

asam sampai netral. Nilai pH tanah dapat dijadikan sebagai indikator kesuburan kimia tanah karena dapat mencerminkan ketersediaan unsur hara dalam tanah. PH optimum untuk ketersediaan hara sekitar 6,7-6,8 karena makronutrien tersedia secara maksimal, sedangkan mikronutrien kecuali Mo tidak maksimal sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya keracunan mikro. Pada tingkat pH di bawah 6,5, defisiensi P, Ca, dan Mg dan toksisitas B, Mn, Cu, Zn, Ca, dan Mg dapat terjadi (Napitupulu, 2008).

Tanah dikategorikan memiliki kandungan karbon organik rendah jika nilainya kurang dari 1,00 - 2,00%, maka di 4 lokasi penelitian memiliki C – organik 0,89% - 1,54%. Kategori sedang nilai C-organik tanah di areal pertanian dan pabrik penggilingan plastik adalah 2,37% - 2,58. Menurut Adji dkk. (2008), logam berat memiliki sifat stabil, dan sulit untuk dijelaskan bagaimana logam tersebut dapat membahayakan kehidupan organisme dan lingkungan. Intinya dengan adanya tanah, bahan organik mampu membentuk ikatan kompleks dengan logam berat sehingga menjadi logam yang tidak larut. Berdasarkan tabel 2, terlihat di lokasi penelitian bahwa nilai bahan organik lebih rendah dari 5%.

Kapasitas tukar kation (KTK) menggambarkan kemampuan tanah untuk menyerap dan menukar kation (Hardjowigeno, 1993). Nilai KTK tanah sesuai dengan jenis dan jumlah koloid yang ada di dalam tanah. Di lokasi penelitian dilakukan pengukuran nilai KTK berkisar antara 4,97 - 7,26 cmol/kg yang termasuk dalam kategori rendah. Tanah dengan KTK tinggi lebih mampu memberikan hara dibandingkan dengan KTK rendah.

KTK sangat ditentukan oleh C-organik tanah karena berkontribusi pada muatan negatif dari gugus fungsi karboksilat dan fenolik. Semakin tinggi nilai KTKnya, semakin besar kemungkinan ia akan menyerap ion bermuatan sangat positif, dalam hal ini logam berat Hg, Pb, dan Cd. Pada tanah dengan kandungan bahan organik tinggi (4,09 - 4,44%), logam juga sangat terserap. Ini mungkin karena tekstur tanah liat yang menyerap logam. Selain C-organik, tekstur tanah liat juga menentukan nilai KTK dalam tanah.

Konsentrasi total logam berat dalam tanah

Logam berat memiliki sifat yang tidak dapat terurai secara hayati dan dapat bertahan lama di tanah yang tercemar. Menghapuskannya membutuhkan banyak waktu dan biaya (Zhang dkk., 2013). Stabilisasi logam berat in situ dapat dilakukan dengan menambahkan bahan amandemen tanah yang biasa digunakan seperti kapur dan kompos dalam upaya mengurangi ketersediaan hayati logam dan meminimalkan penyerapannya oleh tanaman (Komárek dkk., 2013). Logam berat seperti

kadmium (Cd), merkuri (Hg), timbal (Pb), tembaga (Cu), dan seng (Zn) dianggap sebagai polutan 'serius' karena sifat toksiknya, kecenderungan untuk memasuki rantai makanan, dan kemampuan untuk tinggal (waktu tinggal) di lingkungan untuk waktu yang lama (Ansari dkk, 2004). Pada lokasi penelitian ditemukan 7 logam berat yang terdeteksi melalui analisa di laboratorium. Konsentrasi masing-masing logam berat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi logam berat pada tanah sampling

| No | kode sampel | Logam berat (mg/kg) | | | | | | |
|--------------------|-------------|---------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| | | Fe | Zn | Pb | Hg | Cu | Mn | Cd |
| 1 | TR | 1679.54 | 125.16 | 1.48 | 0.93 | 65.76 | 942.56 | 0.48 |
| 2 | TF | 1738.71 | 117.74 | 1.3 | 1.02 | 62.77 | 930.76 | 0.42 |
| 3 | TP | 1697.22 | 36.29 | 1.44 | 0.7 | 33.91 | 662.11 | 0.24 |
| 4 | TC | 1730.24 | 49.93 | 1.65 | 1.04 | 56.35 | 841.57 | 0.35 |
| 5 | TT | 1342.72 | 106.14 | 1.57 | 0.66 | 69.26 | 769.23 | 0.17 |
| 6 | TK | 1590.03 | 89.57 | 1.26 | 0.58 | 70.2 | 824.71 | 0.14 |
| nilai ambang batas | | 3800 ^e | 70 ^b | 0.5 ^c | 0.3 ^a | 60 ^b | 850 ^c | 3-8 ^b |

Data direpresentasikan sebagai rata-rata dari 5 pengukuran sampel

Sumber: a) Balittanah (2009)
 b) Alloway (2012)
 c) Lacatusu (2000)

Rata-rata konsentrasi logam berat pada tabel 3 dari kadar tertinggi hingga terendah adalah Pb > Hg > Zn > Cu > Mn > Cd > Fe. Berdasarkan hasil analisa laboratorium, kadar logam berat Pb dan Hg > 0,5 mg/kg diatas ambang batas. Kadar Pb dan Hg tertinggi dengan total rata-rata 1.65 mg/kg dan 1,04 mg/kg diperoleh pada lokasi sampling dekat industri kertas. Dimana logam berat Pb, Hg dan persenyawaannya terkandung dalam bahan pewarna yang digunakan oleh industri pulp dan kertas. Sedangkan kadar logam berat Zn, Cu dan Mn pada beberapa lokasi tidak melebihi nilai ambang batas. Kadar Zn dan Mn tertinggi diperoleh pada industri plastik (TR) dengan nilai 125,16 mg/kg dan 942,56 mg/kg, sedangkan kadar Cu tertinggi 70,2 mg/kg pada industri kulit (TK). Nilai kadar Cd dan Fe pada tanah berada dibawah ambang batas.

Kontaminasi dan pencemaran logam berat

Suatu area dapat dinyatakan tercemar atau tidak tercemar tergantung dari tingkat pencemaran logam berat. Tingkat pencemaran logam berat ditentukan oleh kadar bahan organik tanah, kadar lempung, dan logam berat yang diukur di dalam tanah. Menurut Lacatusu (2000), status pencemaran / pencemaran logam berat dalam tanah didasarkan pada nilai indeks Cf/PI (Kontaminasi / Pencemaran). Istilah kontaminasi tanah mengacu pada kisaran kadar logam berat yang diukur dalam tanah yang tidak atau tidak akan langsung berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman atau komponen lingkungan lainnya. Sedangkan istilah pencemaran tanah mengacu pada kisaran

kadar logam berat terukur dalam tanah yang menimbulkan pengaruh negatif terhadap sebagian atau seluruh komponen lingkungan. Tingkat kontaminasi atau pencemaran logam berat Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Mn, dan Fe di lokasi penelitian disajikan pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4: Tingkat kontaminasi logam berat pada persawahan dekat industri di Kabupaten Sidoarjo

| Logam berat | Cf (Faktor kontaminasi) | | | | | |
|-------------|-------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | TR | TF | TP | TC | TT | TK |
| Fe | 0.04a | 0.046a | 0.04a | 0.04a | 0.04a | 0.04a |
| Zn | 1.78e | 1.68e | 0.52c | 0.71d | 1.51e | 1.28e |
| Pb | 2.96e | 2.60e | 2.88e | 3.30e | 3.14e | 2.52e |
| Hg | 3.10e | 3.40e | 2.33e | 3.46e | 2.20e | 1.93e |
| Cu | 1.09e | 1.05e | 0.56d | 0.94e | 1.15e | 1.17e |
| Mn | 1.11e | 1.09e | 0.78e | 0.99e | 0.90e | 0.97e |
| Cd | 0.16b | 0.14a | 0.08a | 0.12b | 0.06a | 0.05a |

Catatan: a= Kontaminasi sangat rendah, b =Kontaminasi rendah, c= Kontaminasi sedang, d= Kontaminasi tinggi, e= Kontaminasi sangat tinggi

Konsentrasi logam berat pada persawahan di lokasi penelitian berkisar dari kontaminasi sangat rendah sampai sangat tinggi. Status logam berat Zn, Pb, Hg, Cu, dan Mn di lokasi penelitian TR, TF, TC, TT, dan TK menunjukkan tingkat kontaminasi (de) yang tinggi hingga sangat tinggi, sedangkan pencemaran logam Fe dan Cd sangat tinggi. level rendah ke rendah (ab). Pada lokasi TP, kadar kontaminasi logam Zn, Pb, Hg, Cu, dan Mn sedang sampai sangat tinggi (c-e), sedangkan kontaminasi logam Fe dan Cd sangat rendah (a). Secara keseluruhan, sawah di lokasi penelitian dikategorikan terkontaminasi logam Zn, Pb, Hg, Cu dan Mn pada tingkat pencemaran tinggi hingga sangat tinggi. Namun perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat di dalam tanah. Tingkat pencemaran logam berat pada persawahan dekat industri di Kabupaten Sidoarjo disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5: Index pencemaran logam berat pada persawahan dekat industri di Kabupaten Sidoarjo

| Logam berat (mg/kg) | Jenis Industri | | | | | |
|---------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | TR | TF | TP | TC | TT | TK |
| Fe | 0.06- | 0.06- | 0.09- | 0.07- | 0.06- | 0.07- |
| Zn | 2.36b | 2.30b | 1.09a | 1.13a | 2.61b | 2.36b |
| Pb | 3.91b | 3.57b | 6.06c | 5.22c | 5.41c | 4.64c |
| Hg | 4.10c | 4.66c | 4.90c | 5.48c | 3.79b | 3.56b |
| Cu | 1.45a | 1.43a | 1.18a | 1.48a | 1.99a | 2.16b |
| Mn | 1.47a | 1.50a | 1.64a | 1.56a | 1.56a | 1.78a |
| Cd | 0.21- | 0.19- | 0.17- | 0.18- | 0.09- | 0.08- |

Catatan: a= Pencemaran sangat rendah, b= Pencemaran rendah, c = Pencemaran sedang, d= Pencemaran tinggi, e= Pencemaran sangat tinggi

Seperti terlihat pada Tabel 5, pada TR dan TF, tingkat pencemaran logam dari Zn, Pb, Cu, dan Mn sangat rendah sampai rendah (a-b), sedangkan pencemaran logam Hg sedang (c). Lokasi TP dan TC mengandung tingkat pencemaran yang sangat rendah (a) dari logam Zn, Cu, dan Mn, sedangkan logam Pb dan Hg memiliki tingkat pencemaran sedang (c). Pada lokasi TT dan TK, pencemaran dari Zn, Hg, Cu, dan Mn sangat rendah sampai rendah (a-b), Namun logam Pb menimbulkan pencemaran tingkat sedang (c). Pencemaran rendah sampai sedang ditemukan di semua lokasi penelitian untuk logam Hg dan Pb.

Berdasarkan hasil analisis indeks Cf / PI, persawahan dekat industri di Kabupaten Sidoarjo dipastikan terkontaminasi logam berat Zn, Pb, Hg, Cu, dan Mn serta tercemar logam berat Hg dan Pb. Oleh karena itu, perlu adanya upaya untuk menurunkan kadar logam berat dalam tanah agar tidak mencemari tanaman. Kandungan logam berat yang tinggi di dalam tanah membutuhkan bahan organik atau amelioran untuk mengkelat logam berat tersebut, dan untuk itu perlu dilakukan pengurangan penggunaan bahan kimia dalam teknik budidaya pertanian.

Kontaminasi adalah suatu kondisi pencampuran atau kontaminasi sesuatu oleh elemen lain yang memiliki efek tertentu, biasanya negatif. Polutan adalah bahan atau benda yang menimbulkan pencemaran dan memerlukan bahan organik atau bahan pembenah untuk pengadukan logam berat. Mengurangi penggunaan bahan kimia dalam teknik budidaya pertanian diperlukan untuk mengurangi pencemaran. Hampir semua logam mencemari lingkungan tanah sawah (Zn, Pb, Hg, Cu, dan Mn), tetapi pencemaran logam Hg dan Pb paling memprihatinkan karena risiko kesehatan yang ditimbulkan logam-logam ini jika mengendap di dalam tubuh.

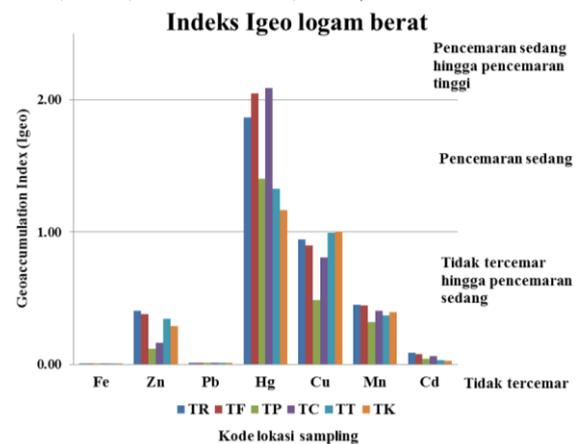
Hasil penelitian Adji (2006) menunjukkan bahwa penggunaan bahan organik pada tanah yang tercemar padi ternyata mampu menghambat penyerapan logam berat oleh akar. Penurunan Pb yang signifikan terjadi dengan penggunaan bahan organik kotoran ayam sebesar 5 ton/ha, sedangkan penurunan Cd yang signifikan di tanah terjadi dengan penggunaan 20 ton/ha. Sudadi (2009) menyatakan bahwa perlakuan ameliorasi dan pemupukan dengan dosis rasional 100% (dolomit 4 ton.ha-1, kotoran sapi 30 ton.ha-1, N (½ urea + ½ ZA) 150 kg.ha-1, P2 O5 (SP-36) 150 kg.ha-1, dan K2O (KCl) 100 kg/ha) dapat menurunkan konsentrasi fraksi aktif Cd (CdNH4OAc-EDTA) dari 35-8,77 mg.ha-1 dan tanah Pb (PbNH4OAc-EDTA) dari 11.57-5.78 mg/kg secara sangat nyata.

Pemberian bahan organik akan mengubah spesiasi logam berat dalam larutan tanah dari bentuk ionik menjadi kompleks sehingga menurunkan penyerapan logam berat oleh akar dan perp-

dahannya ke bagian atas tanaman. Karena fitotoksisitas dan akumulasi logam berat ke rantai makanan yang lebih tinggi menurun, penggunaan bahan organik dianggap ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk sistem produksi tanaman.

Indeks akumulasi geografis (Igeo)

Logam berat yang dihasilkan oleh aktivitas manusia di lingkungan dapat diangkut melalui udara dan disimpan di atas tanah, yang kemudian menembus profil tanah sesuai dengan tekstur dan struktur tanah. Ini juga dapat menjelaskan variasi keberadaan logam di antara lokasi yang tercemar (Yisa dkk.2012; Mazurek dkk. 2017). Abraham & Parkers (2008) melaporkan bahwa rendahnya tingkat pencemaran pada beberapa logam berat dapat dibandingkan dengan nilai ambang batas dan nilai litologi 1,5 pada persamaan Igeo. Menurut Guan dkk. (2014), konstanta 1,5 dapat digunakan untuk mengimbangi fluktuasi alami logam yang diberikan kepada manusia di wilayah penelitian (Fu dkk., 2014; Todorova dkk., 2016). Keberadaan logam di dalam tanah berkaitan dengan aktivitas antropogenik langsung dan tidak langsung (Zhao dkk., 2013; Mazurek dkk., 2017).



Gambar 1. Indeks Geo-akumulasi logam berat

Indeks geo-akumulasi (Igeo) logam ditunjukkan pada gambar 1. Nilai Igeo yang dihitung untuk Pb, Cd, Mn, dan Cu berada dalam kategori Kelas 0 dan Kelas 1, yang menunjukkan bahwa tanah dari lokasi yang berbeda tidak tercemar. (Muller, 1969). Nilai Igeo yang dihitung untuk Hg berada di Kelas 2 di TR, TP, TT, dan TK. Hg termasuk dalam Kelas 3 untuk TF dan TC, menunjukkan pencemaran sedang hingga tinggi.

Potensi risiko ekologi

Penilaian potensi risiko ekologi logam berat terdapat pada Tabel 6 diperoleh nilai faktor risiko ekologi seluruh logam berat (Er) < 40 = potensi risiko ekologis rendah (Hakanson, 1980; Simeon & Friday, 2017). Nilai yang dihitung menunjukkan bahwa logam tersebut tidak menimbulkan risiko ekologi terhadap lingkungan.

Tabel 6. Nilai potensi risiko ekologi logam berat

| Logam berat (mg/kg) | tr (faktor respon) | Faktor Resiko Ekologi | | | | | |
|---------------------|--------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | TR | TF | TP | TC | TT | TK |
| Fe | NA | NC | NC | NC | NC | NC | NC |
| Zn | 1 | 1.79 | 1.68 | 0.52 | 0.71 | 1.52 | 1.28 |
| Pb | 5 | 14.80 | 13.00 | 14.40 | 16.50 | 15.70 | 12.60 |
| Hg | 5 | 15.50 | 17.00 | 11.67 | 17.33 | 11.00 | 9.67 |
| Cu | 5 | 5.48 | 5.23 | 2.83 | 4.70 | 5.77 | 5.85 |
| Mn | 1 | 1.11 | 1.10 | 0.78 | 0.99 | 0.90 | 0.97 |
| Cd | 30 | 4.80 | 4.20 | 2.40 | 3.50 | 1.70 | 1.40 |

Catatan : NA = tidak tersedia, NC= tidak terhitung

Walaupun Hakanson (1980) dalam Simeon & Friday (2017) menyatakan bahwa kadar tersebut tidak membahayakan lingkungan, namun jika logam-logam ini terakumulasi secara terus menerus, suatu saat dapat menjadi berbahaya, terutama jika tanaman yang ditanam di sana dikonsumsi oleh manusia.

SIMPULAN

Temuan kami untuk logam berat di lokasi sampel menunjukkan bahwa hampir semua logam mengkontaminasi lingkungan tanah sawah (Zn, Pb, Hg, Cu, dan Mn), tetapi pencemaran logam Hg dan Pb paling memprihatinkan karena risiko kesehatan yang ditimbulkan logam-logam ini jika mengendap di dalam tubuh. Kapasitas Tukar Kation (KTK), pH, dan bahan organik tanah dapat mempengaruhi keberadaan logam berat di dalam tanah. Model indeks Igeo yang diterapkan pada konsentrasi logam berat yang dihasilkan mengungkapkan bahwa sumber logam dalam tanah yang diteliti dipengaruhi oleh limbah industri. Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa tanah tercemar oleh Hg dan Pb pada kelas sedang hingga tinggi. Nilai yang dihitung menunjukkan bahwa logam tidak menimbulkan potensi risiko ekologis terhadap lingkungan, namun kandungan logam tersebut tetap harus dikurangi dengan cara menambahkan amelioran sehingga tidak berbahaya bagi kesehatan manusia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah mendukung pendanaan Skema Penelitian Hibah Tesis, dosen pembimbing yang memberikan arahan penelitian, LPPM UPN Veteran Jawa Timur, analis laboratorium, dan rekan-rekan mahasiswa yang mendukung kelancaran penelitian saya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdu, N., Abdullahi, A.A. & Abdulkadir, A. 2016. Heavy metals and soil microbes. *Environ Chem Lett* 15, 65–84
- Adamczyk-Szabela, D., Markiewicz, J. & Wolf, W.M. Heavy Metal Uptake by Herbs. IV. Influence of Soil pH on the Content of Heavy Metals in *Valeriana officinalis* L.. *Water Air Soil Pollut* 226, 106 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2360-3>
- Abraham, G.M. and Parker R.J., (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environ. Monit. Assess.*, 136(1–3): 227-238 (22 pages).
- Adji, S. S., (2006). Rehabilitasi Tanah Sawah tercemar Natrium dan Logam Berat Melalui Pencucian, Penggunaan Vegetasi, Bahan Organik dan Bakteri. Disertasi, Institut Pertanian Bogor. Bogor, Indonesia.
- Adji, S. S.; Sunarsih, D.; and Hamda, S., (2008). Pencemaran Logam Berat dalam Tanah dan Tanaman serta Upaya Mengurangnya. In 18th National Seminar of Chemistry. Yogyakarta, Indonesia. pp. 1–19 (18 pages).
- Alloway, B. J., (2012). Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability, 3rd. Ed. Blackie Academic & Professional.
- Ansari, T.M.; Marr, I.L.; and Tariq, N., (2004). Heavy Metals in Marine Pollution Perspective - A Mini Review. *J. Appl. Sci.*, 4; 1: 1-20 (20 pages).
- Balittanah, (2009). Petunjuk Teknis Ed. 2: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk [Technical Instruction 2nd Ed: Chemical Analysis of Soil, Plant, Water, and Fertilizer]. Soil Research Center. Bogor, Indonesia.
- Bhutiani, R.; Kulkarni, D.B.; Khanna, D.R.; and Gautam, A., (2017). Geochemical distribution and environmental risk assessment of heavy metals in groundwater of an industrial area and its surroundings, Haridwar, India. *Energ. Ecol. Environ.*, 2(2): 155–167 (13 pages).
- Chen, Y., Wang, C. and Wang, Z. 2005. Residues and source identification of persistent organic pollutants in farmland soils irrigated by effluents from biological treatment plants. *Environ. Int.*, 31(1), 778–83.
- Dini, M. K.; Rachmadiarti, F.; and Kuntjoro, S., (2013). Potensi Jerami Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb) Pada Limbah Cair Industri Batik Sidokare, Sidoarjo [The Potential of Rice Straw as Pb Adsorbent on Wastewater of Batik Industry in Sidokare, Sidoarjo]. *LenteraBio*, 5(2012): 111–116 (6 pages).
- Darmono, (2001). Lingkungan hidup dan pencemaran: hubungannya dengan toksikologi senyawa logam, 1st Ed. UI-Press.

- Fu, J.; Zhao, C.; Luo, Y.; Liu, C.; Kyzas, G.Z.; Luo, Y.; Zhao, D.; An, S.; and Zhu, H., (2014). Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: their relations to environmental factors. *J. Hazard. Mater.*, 270: 102–109 (8 pages).
- Guan, Y.; Shao, C.; and Ju, M., (2014). Heavy metal contamination assessment and partition for industrial and mining gathering areas. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 11: 7286–303 (17 pages).
- Hakanson, L., (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. *Water Res.*, 14: 975–1001 (26 pages).
- Hardjowigeno, S., (1993). *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Akademi Pressindo.
- Hassaan, M.A.; Nemr, A.E.; and Madkour, F.F., (2016). Environmental Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risk. *Am. J. Water Sci. Eng.*, 2(3): 14–19 (6 pages).
- Indonesian Food and Drug Supervisory Agency. (2018). Peraturan Badan pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. Badan Pengawas Obat Dan Makanan, 5: 1689–99 (10 pages). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Komárek, M.; Vaněk, A.; and Ettler, V., (2013). Chemical stabilization of metals and arsenic in contaminated soils using oxides—A review. *Environ. Pollut.*, 172C: 9–22 (13 pages).
- Lacatusu, R., (2000). Appraising levels of soil contamination and pollution with heavy metals. In: *Land Information Systems for Planning the Sustainable Use of Land Resources*. Eur. Soil Bureau Res. Rep., 4: 393–402 (9 pages).
- Mazurek, R.; Kowalska, J.; Gasiorek, M.; Zadrozny, P.; Jozefowska, A.; Zaleski, T.; Kepka, W.; Tymczuk, M.; and Orłowska, K., (2017). Assessment of heavy metals contamination in surface layers of Roztocze National Park forest soils (SE Poland) by indices of pollution. *Chemosphere*, 168: 839–850 (11 pages).
- Muller, G., (1969). Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 2(3): 108–118 (10 pages).
- Mursyidin and Dindin, H., (2006). *Menanggulangi Pencemaran Logam Berat*. Yayasan Cakrawala Hijau Indonesia, Biologi FMIPA Lambung Mangkurat University Banjarbaru.
- Napitupulu, M., (2008). Analisis logam berat seng, kadmium dan tembaga pada berbagai tingkat kemiringan tanah hutan tanaman industri PT. Toba Pulp Lestari dengan metode spektrometri serapan atom (SSA). Tesis, Universitas Sumatera Utara. Medan, Indonesia.
- Oliver, M. A. and Gregory, P. J. 2015. Soil, food security and human health: A review. *Euro. J. Soil Sci.*, 66 (2), 257–76
- Rosariastuti, R., & Barokah, U., (2018). Phytoremediation of Pb contaminated paddy field using combination of *Agrobacterium* sp. I3, compost and ramie (*Boehmeria nivea*). *J. Degrad. Min. Land Manage.*, 5(4): 1381–1388
- Simeon, E.O.; and Friday, K., (2017). Index Models Assessment of Heavy Metal Pollution in Soils within Selected Abattoirs in Port Harcourt, Rivers State, Nigeria. *Singap. J. Sci. Res.*, 7: 9–15
- Singh, K. P., Mohan, D., Sinha, S. and Dalwani, R. 2004. Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area. *Chemosphere*, 55, 227–55.
- Sudadi, U., (2009). Inaktivasi in situ pencemaran kadmium dan plumbum pada tanah pertanian menggunakan ameliorant dan pupuk pada dosis rasional untuk budidaya tanaman. Disertasi. Institut Pertanian Bogor. Bogor, Indonesia.
- Suganda, H.; Setyorini, D.; Kusnadi, H.; Saripin, I.; and Kurnia, U., (2002). Evaluasi pencemaran limbah industri untuk kelestarian sumberdaya lahan sawah. Progress Report. Research Center and Development for Soil and Agroclimate. Agricultural Research and Development Agency. Bogor, Indonesia.
- Tangahu, B. V., Sheikh Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., & Mukhlisin, M. (2011). A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, 2011, 1–31. doi:10.1155/2011/939161
- Thebo, A. L., Drechsel, P., Lambin, E. F., & Nelson, K. L. (2017). A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. *Environmental Research Letters*, 12(7). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa75d1>
- Todorova, Y.; Lincheva, S.; Yotinov, I.; and Topalova, Y., (2016). Contamination and Ecological Risk Assessment of Long-Term Polluted Sediments with Heavy Metals in Small Hydropower Cascade. *Water Resour. Manag.*, 30: 4171–4184
- Tomlinson, D.L.; Wilson, J.G.; Harris, C.R.; and Jeffrey, D.W., (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgol. Mar. Res.*, 33: 566–575 (9 Pages).
- Tripathi, D.K.; Singh, S.; Singh, S.; Mishra, S.; Chauhan, D.K.; Dubey, N.K., (2015). Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. *Acta Physiol. Plant.*, 37: 139.

- Wang, J.; Du, H.; Xu, Y.; Chen, K.; Liang, J.; Ke, H.; Cheng, S-Y.; Liu, M.; Deng, H.; He, T.; Wang, W.; and Cai, M., (2016). Environmental and Ecological Risk Assessment of Trace Metal Contamination in Mangrove Ecosystems: A Case from Zhangjiangkou Mangrove National Nature Reserve, China. *BioMed Res. Int.*, Article ID 2167053. (14 Pages).
- Yisa, N.J.; Jacob, J.O.; and Onoyima, C., (2012). Assessment of toxic levels of some heavy metals in road deposited sediments in Suleja, Nigeria. *Am. J. Chem.*, 2: 34–37 (3 Pages).
- Zhang, X.; Wang, H.; He, L.; Lu, K.; Sarmah, A.; Li, J., (2013). Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 20(12): 8472–8483 (11 Pages).
- Zhang, Y., & Shen, Y. (2019). Wastewater irrigation: past, present, and future. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(3), e1234. <https://doi.org/10.1002/wat2.1234>
- Zhao, Q.; Liu, S.; Wang, C.; Deng, L.; and Dong, S., (2013). Effects of water-level fluctuations and land use type on heavy metal accumulation along a dam reservoir, southwest China. *Fresenius Environ. Bull.*, 22(4): 1118-1125 (7 Pages).
- Zwolak, A., Sarzyńska, M., Szpyrka, E., & Stawarczyk, K. (2019). Sources of Soil Pollution by Heavy Metals and Their Accumulation in Vegetables: a Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 230(7). <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4221-y>