

Penilaian Status dan Risiko Ekologi Cemaran Logam Berat di Lahan Pertanian Kota Malang, Provinsi Jawa Timur

Cicik Oktasari Handayani^{1*}, Sukarjo¹, Hidayatuz Zu'amah¹, Triyani Dewi¹

¹Pusat Riset Hortikultura dan Perkebunan, Organisasi Riset Pertanian dan Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional; *e-mail: cicik.oktasari@gmail.com

ABSTRAK

Akumulasi logam berat pada tanah memberikan dampak yang besar bagi lingkungan seperti dapat mengganggu keseimbangan ekologi, mengurangi kesuburan tanah, mengubah kualitas fisikokimia tanah dan sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis status logam berat pada tanah dan kemungkinan terjadinya dampak ekologi yang tidak diinginkan pada lingkungan akibat adanya cemaran logam berat pada lahan pertanian Kapaten Malang. Penelitian ini menggunakan metode survey pengambilan contoh tanah dengan jumlah titik lokasi pengambilan contoh tanah sebanyak 123 titik. Analisis yang dilakukan antara lain analisis spasial, geoaccumulation index (I-Geo), pollution index (PI), the Nemerow integrated pollution index (NIPI), dan potential ecological risk index (RI). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa logam Pb, Cd, Co, Ni, Cr, Cu, Mn, Zn dan As terdeteksi hampir di semua lokasi pengambilan contoh tanah pada lahan pertanian Kota Malang. Hasil analisis geoaccumulation index (I-geo), pollution index (PI), the Nemerow integrated pollution index (NIPI) dan potential ecological risk index (RI) menunjukkan hasil yang selaras bahwa logam Cd merupakan sumber utama pencemaran logam berat di lahan pertanian Kota Malang dengan nilai pencemaran yang cukup tinggi sehingga juga memiliki dampak ekologis yang tinggi.

Kata kunci: Logam berat, Pertanian, Risiko ekologi, Tanah

ABSTRACT

The accumulation of heavy metals in the soil has a major impact on the environment such as disturbing the ecological balance, reducing soil fertility, changing the physicochemical quality of the soil, and being very dangerous to human health. This study aims to analyze the status of heavy metals in soil and the possibility of unwanted ecological impacts on the environment due to heavy metal contamination on agricultural land in Malang Regency. This study used a survey method for taking soil samples with a total of 123 points for taking soil samples. The analysis performed included spatial analysis, geoaccumulation index (I-Geo), pollution index (PI), Nemerow integrated pollution index (NIPI), and ecological risk potential index (RI). The results of this study indicate that the metals Pb, Cd, Co, Ni, Cr, Cu, Mn, Zn, and As were detected in almost all soil sampling locations on agricultural land in Malang City. The results of the analysis of the geoaccumulation index (I-geo), pollution index (PI), Nemerow integrated pollution index (NIPI) and potential ecological risk index (RI) show consistent results that Cd metal is the main source of heavy metal pollution in agricultural land in Malang City with pollution value is quite high so it also has a high ecological impact.

Keywords: Agriculture, Ecological risk, Heavy metals, Soil

Citation: Handayani, C. O., Sukarjo, Zu'amah, H., dan Dewi, T. (2024). Penilaian Status dan Risiko Ekologi Cemaran Logam Berat di Lahan Pertanian Kota Malang, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(1), 60-68, doi:10.14710/jil.22.1.60-68

1. Pendahuluan

Pencemaran logam berat pada tanah merupakan salah satu ancaman bagi lingkungan (Pourret & Bollinger, 2018). Logam berat dapat terakumulasi di tanah (L. Yang et al., 2022), air (Chen et al., 2022), udara (Lee et al., 2022), dan manusia melalui rantai makanan. Logam berat yaitu logam yang memiliki massa jenis yang relatif tinggi (Patle et al., 2022) dan sifat toksik (Matyakubov et al., 2022), persisten (Shuaib et al., 2021) dan non-biodegradable (Xiang et

al., 2021) sehingga berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia.

Dampak negatif logam berat pada lahan pertanian antara lain dapat menurunkan kualitas lahan dan penurunan potensi hasil tanaman. Logam berat pada lahan pertanian dapat berpengaruh terdapat populasi mikroba di dalam tanah sehingga akan berdampak pada kesuburan tanah (Naz et al., 2022). Logam berat juga dapat mempengaruhi potensi hasil tanaman dengan cara merusak fungsi fisiologis tanaman, mengurangi perkecambahan biji, menghasilkan stres

oksidatif, dan menghambat kemampuan fotosintesis (Elango et al., 2022).

Logam berat pada lahan pertanian dapat bersumber dari pertanian intensif dengan penggunaan pupuk dan pestisida kimia (Tian et al., 2022). Sumber-sumber lainnya yang dapat mengakumulasi logam berat di lahan pertanian adalah air irigasi, limbah industri, limbah domestik, pertambangan dan kendaraan bermotor (Liao et al., 2021). Air sungai tercemar logam berat yang digunakan sebagai sumber irigasi selain dapat terakumulasi pada lahan pertanian dapat juga terakumulasi pada produk pertaniannya (Singh et al., 2020). Kota Malang merupakan salah satu Kota yang berada pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas. Kota Malang memiliki luas lahan pertanian sekitar 2.742 Ha yang terdiri dari 995 Ha lahan sawah dan 1.747 Ha lahan pertanian bukan sawah (BPS Kota Malang, 2021). Penggunaan lahan pertanian di Kota Malang sebesar 24% dari luas wilayah, penggunaan lahan tersebut merupakan penggunaan lahan terbesar kedua setelah permukiman di Kota Malang. Pertanian di Kota Malang mayoritas menggunakan air dari Sungai Brantas sebagai sumber irigasi. Sungai Brantas merupakan sungai yang memiliki kandungan logam berat (Mariyanto et al., 2019), hal tersebut tentunya akan berdampak pada konsentrasi logam berat pada lahan pertanian di Kota Malang.

2. Metode

2.1. Lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Malang Propinsi Jawa Timur yang terletak pada koordinat 112.06° - 112.07° Bujur Timur, 7.06° - 8.02° Lintang Selatan. Kota Malang memiliki luas wilayah sekitar 110,06 Km² dan letaknya berada di tengah-tengah wilayah Kabupaten Malang. Kota Malang terdiri dari lima kecamatan yaitu: Kecamatan Kedungkandang, Sukun, Klojen, Blimbing dan Lowokwaru. Kondisi topografi Kota Malang merupakan daerah dataran tinggi dengan ketinggian 445-526 meter di atas permukaan laut (dpl). Suhu udara berkisar antara 17,7°C hingga 31,0°C. Kelembaban udara rata-rata berkisar antara 58 - 85 % dan curah hujan rata-rata berkisar antara 0 - 433 mm. Curah hujan rata-rata terendah terjadi pada Bulan Agustus dan tertinggi terjadi pada Bulan Januari. Sungai yang mengalir di Wilayah Kota Malang adalah Sungai Brantas, Amprong dan Bango.

2.2. Cara pengambilan dan analisis sampel tanah

Titik pengambilan sampel tanah ditentukan dengan metode grid pada satuan (unit) lahan pada peta penggunaan lahan. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan metode survey pada 123 titik lokasi. Parameter yang diamati meliputi logam berat Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, Mn, Zn dan As. Sampel tanah hasil survei lapangan yang diambil pada lapisan permukaan tanah olah (0-20 cm). Sampel-sampel tanah tersebut selanjutnya dianalisis kandungan logam beratnya di Laboratorium Terpadu Balai

Penelitian Lingkungan Pertanian, Badan Litbang Kementerian Pertanian. Metode analisa logam berat pada sampel tanah dilakukan dengan menggunakan Atomic Absorbption Spectrophotometer (AAS) yang mengacu pada (Eviati & Sulaeman, 2009) dan (Sisay et al., 2019) dengan modifikasi pada volume sampel yang dianalisis, volume pemberian larutan asam nitrat pekat dan tahapan destruksi.

Data hasil analisis logam berat Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, Mn, Zn dan As pada tanah dibandingkan dengan batas kritis logam berat yang ditetapkan oleh Alloway (1995), dan dibuat analisis distribusi spasial untuk masing-masing logam.

2.3. Analisis kontaminasi tanah

Geo-accumulation index (Igeo)

Geo-accumulation index (Igeo) digunakan untuk mengevaluasi tingkat pencemaran logam berat dengan membandingkan dengan konsentrasi logam berat yang sudah ada pada kerak bumi, Igeo diukur sebagai berikut (Muller, 1969):

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_i}{1.5 \times C_b} \right]$$

Ci yaitu konsentrasi unsur logam i dalam sampel tanah, sedangkan Cb adalah nilai latar belakang dari logam yang sesuai, dan faktor 1.5 adalah faktor koreksi matriks latar belakang. Berdasarkan Muller (1969). Nilai Igeo dapat diklasifikasikan ke dalam tujuh tingkatan yaitu tidak terkontaminasi (Igeo<0), tidak terkontaminasi hingga terkontaminasi sedang (0<Igeo<1), terkontaminasi sedang (1<Igeo<2), terkontaminasi sedang hingga berat (2<Igeo<3), terkontaminasi berat (3<Igeo<4), terkontaminasi berat hingga ekstrim (4<Igeo<5) dan terkontaminasi ekstrim (5<Igeo).

Pollution index (PI) and the Nemerow integrated pollution index (NIPI)

PI dan NIPI digunakan untuk menghitung tingkat polusi setiap logam berat dan polusi terintegrasi dari semua logam berat yang diamati. PI dan NIPI dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Nemerow, 1974):

$$PI = \frac{C_i}{S_i}$$

dimana Ci adalah konsentrasi unsur logam i dalam sampel tanah, sedangkan Si adalah batas kritis dari logam berat yang sesuai (Alloway, 1995).

$$NIPI = \sqrt{\frac{(P_i)^2 + (P_{max})^2}{2}}$$

Pmax yaitu nilai maksimum PI individu untuk semua logam berat yang diamati, dan Pi yaitu nilai rata-ratanya. Nilai PI dan NIPI dapat diklasifikasikan menjadi lima tingkat (Liu et al., 2021) yaitu tidak ada polusi (PI, NIPI<0,7), ambang peringatan (0,7<PI, NIPI<1), polusi rendah (1<PI, NIPI<2), polusi sedang (2<PI, NIPI<3) dan polusi berat (PI, NIPI>3).

Potential ecological risk index (RI)

Potential ecological risk index (RI) digunakan untuk mengevaluasi potensi bahaya logam berat bagi ekosistem. RI dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Hakanson, 1980):

$$EI_i = \frac{Ci}{Cb_n} \times CFi$$

$$RI = \sum_{i=1}^n EI_i$$

EIi adalah faktor risiko ekologis dari elemen i, dan CFi adalah faktor respon logam yang diamati yaitu, As = 10, Cd = 30, Cr = 2, Cu = 5, Ni = 5, Pb = 5, Co = 5, Mn = 1, dan Zn = 1. Nilai EI dapat diklasifikasikan menjadi lima kategori yaitu tingkat rendah (EI < 40), tingkat sedang (40 < EI < 80), cukup tingkat (80 < EI < 160), tingkat sangat tinggi (160 < EI < 320) dan tingkat berbahaya (EI > 320). RI adalah total potensi risiko ekologi untuk semua logam berat, RI diklasifikasikan menjadi empat level yaitu level rendah (RI <150), level sedang (150 < RI < 300), level cukup tinggi (300 < RI < 600), dan level sangat tinggi (RI > 600).

3. Hasil dan Pembahasan

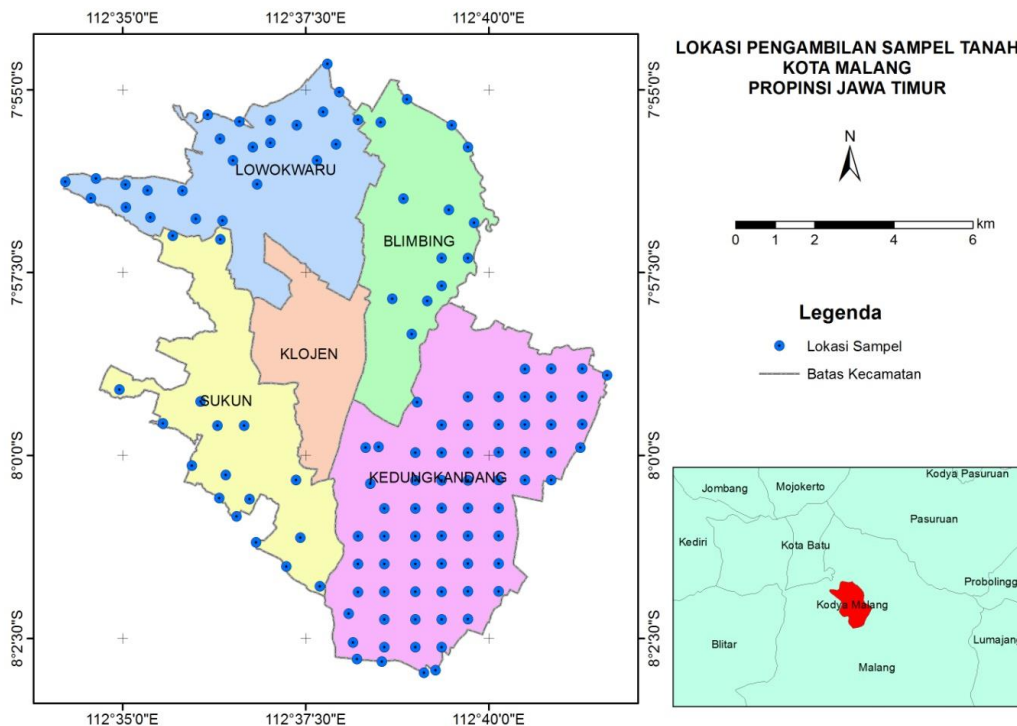
3.1. Konsentrasi logam berat di tanah

Pada lahan pertanian Kota Malang konsentrasi logam berat Pb, Cd, Co, Ni, Cr, Cu, Mn, Zn dan As terdeteksi hampir di semua lokasi pengambilan sampel tanah. Nilai maksimal untuk konsentrasi logam Pb, Cd, Co, Ni, Cr, Cu, Mn, Zn dan As berturut-turut yaitu sebesar 41,90 mg kg⁻¹, 2,62 mg kg⁻¹, 55,33 mg kg⁻¹, 19,72 mg kg⁻¹, 25,63 mg kg⁻¹, 105,58 mg kg⁻¹, 380,82 mg kg⁻¹, 20,27 mg kg⁻¹, dan 29,29 mg kg⁻¹. Berdasarkan nilai maksimal tersebut maka beberapa logam telah melebihi batas kritis antara lain logam Co, Cu, dan As dengan nilai batas kritis berturut-turut

yaitu 25 mg kg⁻¹, 60 mg kg⁻¹, dan 20 mg kg⁻¹. Hal tersebut menunjukkan bahwa beberapa lokasi pengambilan sampel tanah telah tercemar logam Co, Cu dan As.

Beberapa aktivitas masyarakat dapat menimbulkan akumulasi logam berat di lahan pertanian. Adanya peningkatan jumlah penduduk dan pesatnya industri disinyalir menjadi sumber akumulasi logam berat di tanah (F. Li et al., 2022). Hal tersebut sering terjadi di negara-negara berkembang seperti Indonesia yang memiliki jumlah penduduk tinggi dan industrialisasi yang pesat (Ali et al., 2022). Jumlah penduduk di Kota Malang sebesar 843.810 jiwa dengan laju pertumbuhan sebesar 0,28% pada tahun 2020 (BPS Kota Malang, 2021). Pesatnya laju pertumbuhan penduduk terlihat pada luas penggunaan lahan permukiman di Kota Malang yang merupakan penggunaan lahan terbesar, hal tersebut dimungkinkan dapat menyebabkan akumulasi logam Cu dan As pada lahan pertanian di sekitar permukiman (Yuan et al., 2021).

Distribusi dan variasi spasial logam berat di lahan pertanian Kota Malang secara tidak langsung dihitung dengan nilai variasi koefisien (CV). Nilai CV logam Pb, Cd, Co, Ni, Cr, Cu, Mn, Zn dan As berturut turut sebesar 22,32%, 23,12%, 28,93%, 28,04%, 68,00%, 107,70%, 84,98%, 106,4%, dan 104,9%. Koefisien variasi (CV) dapat menjelaskan derajat variasi dari logam berat CV < 15% menunjukkan variasi yang rendah, CV di antara 15%–35% menunjukkan variasi sedang, dan CV > 35% berarti variasi tinggi (Song et al., 2022). Nilai CV yang semakin tinggi menunjukkan dampak yang lebih besar dari aktivitas manusia, sedangkan semakin rendah nilai CV maka pengaruh faktor alam yang lebih besar dari aktivitas manusia (Wu et al., 2021).



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel tanah

Nilai CV logam berat Pb, Cd, Co, dan Ni berkisar antara 22,32%-28,93% hal tersebut menunjukkan kategori variasi sedang dan distribusi logam berat yang cukup fluktuatif yang menunjukkan adanya pengaruh aktivitas antropogenik terhadap kandungan logam berat di lahan pertanian. Nilai CV logam Cr, Cu, Mn, Zn dan As >35%, hal tersebut menunjukkan kategori variasi yang tinggi dan distribusi logam berat sangat fluktuatif (Zhang et al., 2022), sehingga menunjukkan adanya pengaruh kegiatan antropogenik yang tinggi terhadap status logam berat pada lahan pertanian

Distribusi spasial konsentrasi logam berat di lahan pertanian Kota Malang dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan analisis spasial ada beberapa logam dengan karakter yang hampir sama. Logam Pb, Cd dan Ni memiliki pola sebaran yang hampir setara pada semua kategori nilai sehingga pola sebarannya merata dan tidak ada dominasi kategori nilai tertentu, sedangkan untuk logam Co, Cr, Cu, Mn, Zn dan As didominasi oleh kategori nilai terkecil sehingga terlihat pada pola sebarannya tidak merata karena didominasi warna hijau yang menunjukkan kategori nilai terkecil.

3.2. Geo accumulation index (I-geo)

Nilai Igeo pada lahan pertanian di Kota Malang dapat dilihat pada Gambar 3. Rata-rata nilai indeks geo secara berurutan yaitu Cd(11,95)>As (2,43)>Pb(1,10)>Co(0,56)>Cu(0,26)>Ni(0,15)>Zn(0,03)>Cr(0,03)>Mn(0,00). Rata-rata nilai indeks geo tertinggi pada logam Cd dan terendah pada logam Mn. Berdasarkan nilai rata-rata logam Pb, Cd, Co, Ni, Cr, Cu, Mn, Zn dan As semuanya nilainya di atas 0 sehingga dapat dinyatakan bahwa pada lahan pertanian di Kota Malang tidak ada yang masuk pada kategori tidak tercemar oleh logam-logam tersebut. Nilai rata-rata logam Cd sangat tinggi yaitu 11,95 sehingga untuk

logam Cd masuk pada kategori tercemar sangat berat atau ekstrim karena nilainya >5.

Persentase dari kategori nilai I-geo dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai indeks geo untuk logam Pb, Co, Ni, Cr, Cu, Mn dan Zn masuk pada kategori tidak tercemar hingga tercemar sedang sebanyak 100%. Logam Cd sebesar 100% masuk pada kategori tercemar sangat berat atau ekstrim karena nilai logam Cd pada semua lokasi menunjukkan nilai yang tinggi. Logam As masuk pada beberapa kategori antara lain kategori tidak tercemar hingga tercemar sedang, tercemar sedang, tercemar sedang hingga berat, tercemar berat, tercemar berat hingga ekstrim dan tercemar ekstrim dengan besar persentase secara berturut-turut yaitu 3,02%, 14,63%, 19,51%, 8,94%, 4,88% dan 13,01%.

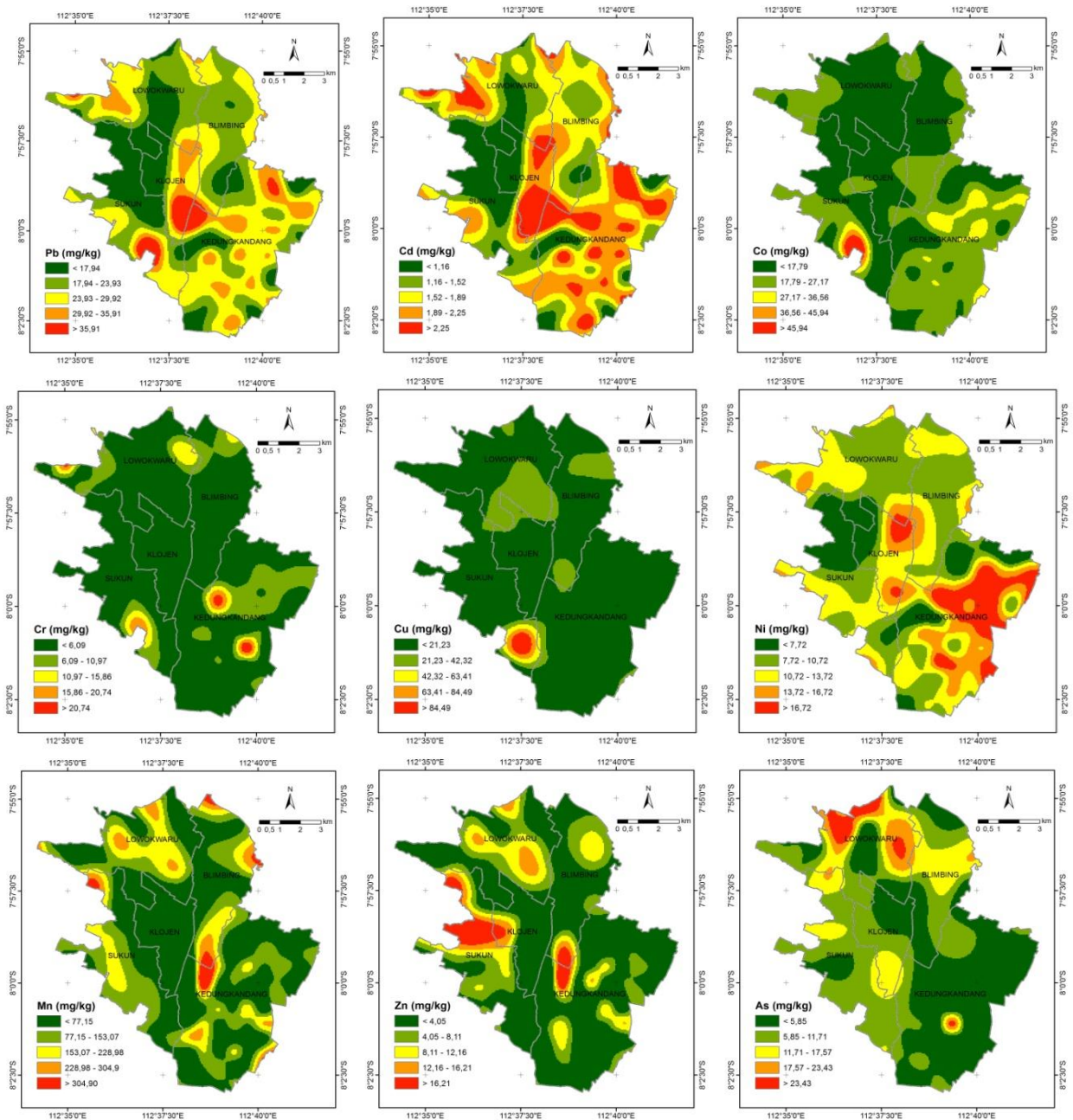
Sumber utama logam Cd pada lahan pertanian selain dari bahan induk tanah (Q. Li et al., 2022) juga berasal dari penggunaan pupuk dan pestisida kimia yang intensif (Agyeman et al., 2022). Penggunaan pupuk kandang (Zhuang et al., 2020) dan pupuk fosfat (Carne et al., 2021) yang berlebihan dapat mengakumulasi logam Cd pada lahan pertanian. Penggunaan pestisida yang memiliki kandungan logam berat Cd seperti herbisida berbahan aktif glifosat (Defarge et al., 2018).

3.3. Pollution index (PI) and the Nemerow integrated pollution index (NIPI)

Status logam berat dalam tanah juga dapat dilakukan dengan pollution index (PI). Nilai PI logam berat di lahan pertanian Kota Malang dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai rata-rata PI secara berurutan yaitu Co (0,81)>Cd (0,60)> As (0,31)> Pb (0,24)> Cu (0,16)>Ni (0,12)> Cr (0,07)>Mn (0,06)>Zn (0,05). Berdasarkan nilai rata-rata PI maka logam Pb, Cd, Ni, Cr, Cu, Mn, Zn dan As tidak termasuk pada kategori tercemar karena nilai PI di bawah 0,7.

Tabel 1. Statistik deskriptif logam berat pada lahan pertanian di daerah penelitian

Malang	Pb	Cd	Co	Ni	Cr	Cu	Mn	Zn	As
	----- mg kg ⁻¹ -----								
Mean	24,46	1,79	20,26	12,31	5,25	9,72	88,55	3,21	6,19
Standard Error	0,49	0,04	0,53	0,31	0,32	0,94	6,79	0,31	0,59
Median	24,88	1,80	19,56	11,26	4,21	7,53	68,05	2,23	4,20
Standard Deviation	5,46	0,41	5,86	3,45	3,57	10,47	75,25	3,42	6,50
Sample Variance	29,80	0,17	34,35	11,90	12,74	109,70	5662,93	11,67	42,19
Kurtosis	-0,14	-0,54	9,36	-0,49	13,11	57,51	1,51	4,77	2,50
Skewness	0,09	-0,23	1,65	0,34	3,23	6,38	1,21	1,91	1,68
Range	29,95	1,83	46,92	14,99	24,43	105,43	379,59	20,26	29,29
Minimum	11,95	0,79	8,41	4,73	1,20	0,15	1,23	0,00	0,00
Maximum	41,90	2,62	55,33	19,72	25,63	105,58	380,82	20,27	29,29
Sum	3008,53	220,42	2491,43	1513,55	645,55	1195,98	10892,08	394,89	761,43
Count	123	123	123	123	123	123	123	123	123
CV (%)	22,32	23,12	28,93	28,04	68,00	107,7	84,98	106,4	104,9
Batas kritis (Alloway, 1995)	100-400	3-8	25-50	100	75-100	60-125	1500-3000	70-400	20

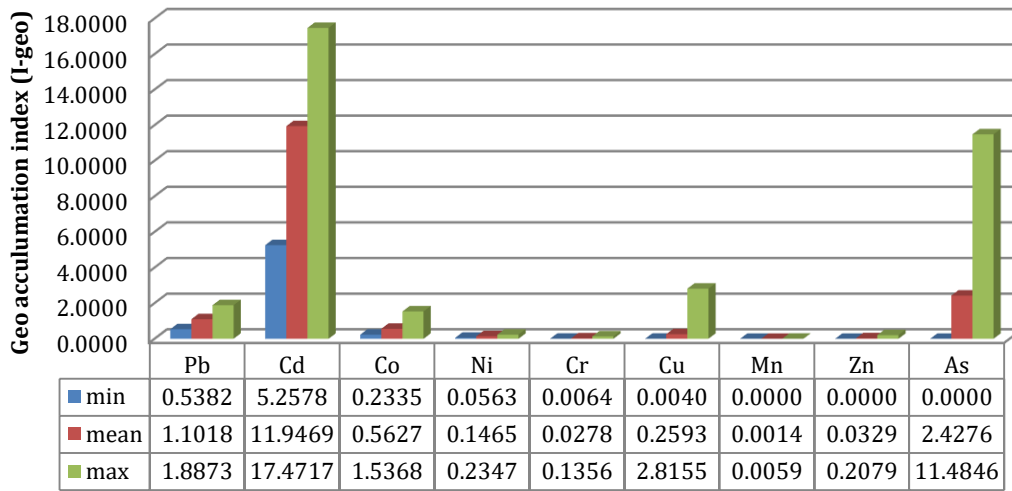


Gambar 2. Distribusi spasial logam berat di lahan pertanian Kota Malang

Persentase nilai PI berdasarkan kategori status pencemarannya dapat dilihat juga pada Tabel 3. Nilai persentase PI tersebut didasarkan pada seluruh nilai logam berat di semua lokasi pengambilan contoh tanah dan bukan berdasarkan nilai rata-rata PI saja, sehingga ada beberapa nilai PI yang masuk pada kategori selain tidak tercemar seperti pada logam Cd, Co, Cu, dan As. Persentase nilai PI untuk logam Pb, Ni, Cr, Mn dan Zn sebesar 100% berada pada kategori tidak tercemar. Persentase nilai PI logam Cd dan Cu terdapat di dua kategori yaitu logam Cd pada kategori tidak tercemar (72,36%) dan ambang peringatan (27,64%), sedangkan logam Cu pada kategori tidak tercemar (99,19%) dan tercemar rendah (0,81%).

Persentase logam Co terdapat pada empat kategori yaitu tidak tercemar (34,15%), ambang peringatan (47,97%), rendah (17,07%) dan sedang (0,81%), sedangkan logam As terdapat pada tiga kategori yaitu tidak tercemar (87,80%), ambang peringatan (5,69%) dan rendah (6,50%).

Berdasarkan persentase nilai PI pada semua logam maka dapat diketahui bahwa hanya logam Cd, Co dan As telah masuk pada kategori ambang peringatan pencemaran logam berat. Hal tersebut sesuai dengan hasil dari nilai I-geo untuk logam Cd yang merupakan sumber utama pencemaran di lahan pertanian Kota Malang.



Gambar 3. Nilai Geo-accumulation index (I-geo)

Tabel 2. Persentase dari kategori nilai Geo-accumulation index (I-geo)

Logam berat	tidak tercemar	tidak tercemar-sedang	sedang	sedang-berat	berat	berat-ekstrim	ekstrim
Pb	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
Co	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
As	0,00	39,02	14,63	19,51	8,94	4,88	13,01

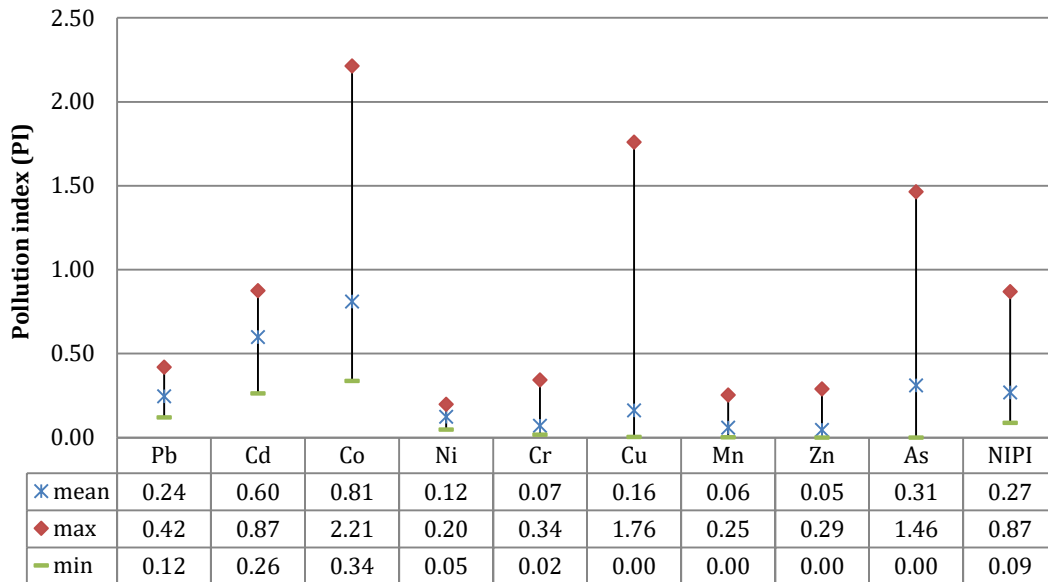
3.3. Pollution index (PI) and the Nemerow integrated pollution index (NIPI)

Status logam berat dalam tanah juga dapat dilakukan dengan pollution index (PI). Nilai PI logam berat di lahan pertanian Kota Malang dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai rata-rata PI secara berurutan yaitu Co (0.81)>Cd (0.60)> As (0.31)> Pb (0.24)> Cu (0.16)>Ni (0.12)> Cr (0.07)>Mn (0.06)>Zn (0.05). Berdasarkan nilai rata-rata PI maka logam Pb, Cd, Ni, Cr, Cu, Mn, Zn dan As tidak termasuk pada kategori tercemar karena nilai PI di bawah 0.7.

Persentase nilai PI berdasarkan kategori status pencemarannya dapat dilihat juga pada Tabel 3. Nilai persentase PI tersebut di dasarkan pada seluruh nilai logam berat di semua lokasi pengambilan contoh tanah dan bukan berdasarkan nilai rata-rata PI saja, sehingga ada beberapa nilai PI yang masuk pada kategori selain tidak tercemar seperti pada logam Cd, Co, Cu, dan As. Persentase nilai PI untuk logam Pb, Ni, Cr, Mn dan Zn sebesar 100% berada pada kategori tidak tercemar. Persentase nilai PI logam Cd dan Cu terdapat di dua kategori yaitu logam Cd pada kategori tidak tercemar (72.36%) dan ambang peringatan (27.64%), sedangkan logam Cu pada kategori tidak tercemar (99.19%) dan tercemar rendah (0.81%).

Persentase logam Co terdapat pada empat kategori yaitu tidak tercemar (34.15%), ambang peringatan (47.97%), rendah (17.07%) dan sedang (0.81%), sedangkan logam As terdapat pada tiga kategori yaitu tidak tercemar (87.80%), ambang peringatan (5.69%) dan rendah (6.50%). Berdasarkan persentase nilai PI pada semua logam maka dapat diketahui bahwa hanya logam Cd, Co dan As telah masuk pada kategori ambang peringatan pencemaran logam berat. Hal tersebut sesuai dengan hasil dari nilai I-geo untuk logam Cd yang merupakan sumber utama pencemaran di lahan pertanian Kota Malang.

Nilai NIPI merupakan nilai yang didapat dari integrasi semua logam berat yang diamati pada lokasi pengamatan. Nilai rata-rata NIPI pada lahan pertanian di Kota Malang sebesar 0.27, hal tersebut menunjukkan nilai pada kategori tidak tercemar karena nilainya di bawah 0.7. Nilai maksimal dari NIPI sebesar 0.87 yang menunjukkan bahwa dari nilai maksimal nilai NIPI ada yang berada pada status ambang pencemaran, sehingga dapat disimpulkan jika berdasarkan nilai rata-rata integrasi semua logam berat yang diamati maka lahan pertanian Kota Malang berada pada status tidak tercemar.



Gambar 4. Nilai Pollution index (PI) dan Nemerow integrated pollution index (NIPI)

3.4. Ecological risk assessment (EI) and potential ecological risk index (RI)

Risiko ekologis logam berat di lahan pertanian Kota Malang dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil perhitungan risiko ekologis menunjukkan bahwa nilai EI untuk Cd berada di atas 40 yaitu sebesar 537,61 sehingga logam Cd termasuk pada kategori tingkat risiko ekologis yang berbahaya. Hal tersebut dimungkinkan karena nilai koefisien respons toksik yang tinggi (30) dibanding dengan logam lainnya. Nilai EI di bawah 40 yaitu pada logam Pb, Co, Ni, Cr, Cu, Mn, Zn dan As dengan nilai Ei berturut-turut yaitu 8,26; 4,22; 2,10; 0,80; 1,94; 0,12; 0,05; 36,41. hal tersebut menunjukkan bahwa logam Pb, Co, Ni, Cr, Cu, Mn, Zn dan As masuk pada kategori risiko ekologis tingkat rendah. Nilai RI pada semua logam sebesar 589,81 yang menunjukkan bahwa risiko ekologis terintegrasi dari semua logam berat yang diamati masuk pada kategori level yang cukup tinggi, hal tersebut disebabkan oleh nilai EI pada logam Cd yang sangat tinggi sehingga nilai RI juga tinggi.

Berdasarkan hasil dari analisis I-geo, Pollution index (PI) dan risiko ekologis menunjukkan bahwa logam Cd merupakan sumber utama pencemaran

logam berat di lahan pertanian Kota Malang dengan nilai pencemaran yang cukup tinggi. Akumulasi logam Cd pada lahan pertanian dapat berdampak negatif pada kesehatan manusia akibat dari paparan logam Cd pada hasil pertanian yang dikonsumsi manusia (Yang et al., 2022). Paparan logam Cd dengan cara konsumsi sangat berisiko terhadap kesehatan karena dapat berdampak pada penurunan kepadatan tulang dan penurunan kerja ginjal (Schaefer et al., 2022).

Tabel 3. Persentase dari kategori nilai Pollution index (PI)

Logam berat	Persentase nilai PI				
	tidak tercemar	ambang peringatan	rendah	sedang	berat
Pb	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cd	72,36	27,64	0,00	0,00	0,00
Co	34,15	47,97	17,07	0,81	0,00
Ni	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	99,19	0,00	0,81	0,00	0,00
Mn	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
As	87,80	5,69	6,50	0,00	0,00
NIPI	100,00	0,00	00,00	0,00	0,00

Tabel 4. Nilai ecological risks index (EI) dan nilai potential ecological risk index (RI)

Statistic	Ecological risks (EI)									RI
	Pb	Cd	Co	Ni	Cr	Cu	Mn	Zn	As	
Mean	8,26	537,61	4,22	1,10	0,08	1,94	0,12	0,05	36,41	589,81
Standard Error	0,17	11,21	0,11	0,03	0,01	0,19	0,01	0,00	3,45	11,36
Median	8,40	540,71	4,08	1,01	0,07	1,51	0,10	0,03	24,68	592,59
Standard Deviation	1,84	124,28	1,22	0,31	0,06	2,09	0,11	0,05	38,21	125,97
Sample Variance	3,40	15446,27	1,49	0,09	0,00	4,39	0,01	0,00	1459,97	15868,45
Kurtosis	-0,14	-0,54	9,36	-0,49	13,11	57,51	1,51	4,77	2,50	-0,10
Skewness	0,09	-0,23	1,65	0,34	3,23	6,38	1,21	1,91	1,68	-0,46
Range	10,12	549,63	9,78	1,34	0,39	21,09	0,53	0,31	172,27	583,48
Minimum	4,04	236,60	1,75	0,42	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	254,73
Maximum	14,15	786,23	11,53	1,76	0,41	21,12	0,53	0,31	172,27	838,22
Sum	1016,39	66126,22	519,05	135,14	10,25	239,20	15,21	6,08	4478,99	72546,51
Count	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123

4. Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa logam Pb, Cd, Co, Ni, Cr, Cu, Mn, Zn dan As terdeteksi hampir di semua lokasi pengambilan sampel tanah pada lahan pertanian Kota Malang. Hasil analisis geoaccumulation index (I-geo), pollution index (PI), the Nemerow integrated pollution index (NIPI) dan risiko ekologis (EI dan RI) menunjukkan hasil yang selaras bahwa logam Cd merupakan sumber utama pencemaran logam berat di lahan pertanian Kota Malang dengan nilai pencemaran yang cukup tinggi sehingga memiliki dampak ekologis yang tinggi juga. Nilai geoaccumulation index (I-geo), pollution index (PI) dan risiko ekologis (EI) logam Cd berturut-turut yaitu 11,95 (tercemar ekstrim), 0,87 (ambang peringatan), dan 537,61 (risiko berbahaya).

Hasil Penelitian ini dapat dikembangkan lagi untuk menganalisis sumber-sumber kontaminan logam berat di lahan pertanian, dan juga menganalisis risiko kesehatan pada masyarakat sekitar terhadap adanya konsentrasi logam berat di lahan pertanian Kota Malang.

DAFTAR PUSTAKA

- Agyeman, P. C., Khosravi, V., Michael Kebonye, N., John, K., Borůvka, L., & Vašát, R. (2022). Using spectral indices and terrain attribute datasets and their combination in the prediction of cadmium content in agricultural soil. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107077. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107077>
- Ali, M. M., Rahman, S., Islam, M. S., Rakib, M. R. J., Hossen, S., Rahman, M. Z., Kormoker, T., Idris, A. M., & Phoungthong, K. (2022). Distribution of heavy metals in water and sediment of an urban river in a developing country: A probabilistic risk assessment. *International Journal of Sediment Research*, 37(2), 173–187. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2021.09.002>
- Alloway, B. J. (1995). *Heavy metal in soils*. Blackie Academic and Profesional.
- BPS Kota Malang. (2021). *Kota Malang Dalam Angka Tahun 2021*. Badan Pusat Statistik Kota Malang.
- Carne, G., Leconte, S., Sirot, V., Breyse, N., Badot, P.-M., Bispo, A., Deportes, I. Z., Dumat, C., Rivière, G., & Crépet, A. (2021). Mass balance approach to assess the impact of cadmium decrease in mineral phosphate fertilizers on health risk: The case-study of French agricultural soils. *Science of The Total Environment*, 760, 143374. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143374>
- Chen, J., Zhang, H., Xue, J., Yuan, L., Yao, W., & Wu, H. (2022). Study on spatial distribution, potential sources and ecological risk of heavy metals in the surface water and sediments at Shanghai Port, China. *Marine Pollution Bulletin*, 181, 113923. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113923>
- Defarge, N., Spiroux de Vendômois, J., & Séralini, G. E. (2018). Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. *Toxicology Reports*, 5, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.12.025>
- Elango, D., Devi, K. D., Jeyabalakrishnan, H. K., Rajendran, K., Thoomatti Haridass, V. K., Dharmaraj, D., Charuchandran, C. V., Wang, W., Fakude, M., Mishra, R., Vembu, K., & Wang, X. (2022). Agronomic, breeding, and biotechnological interventions to mitigate heavy metal toxicity problems in agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100374. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100374>
- Eviati, & Sulaeman. (2009). *Petunjuk Teknis Edisi 2 Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk* (2nd ed.). Balai Penelitian Tanah.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14 (8), 975–1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
- Lee, N.-W., Wang, H.-Y., Du, C.-L., Yuan, T.-H., Chen, C.-Y., Yu, C.-J., & Chan, C.-C. (2022). Air-polluted environmental heavy metal exposure increase lung cancer incidence and mortality: A population-based longitudinal cohort study. *Science of The Total Environment*, 810, 152186. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152186>
- Li, F., Yang, H., Ayyamperumal, R., & Liu, Y. (2022). Pollution, sources, and human health risk assessment of heavy metals in urban areas around industrialization and urbanization-Northwest China. *Chemosphere*, 308, 136396. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136396>
- Li, Q., Deng, Q., Fang, H., Yu, X., Fan, Z., Du, Z., Li, M., Tao, Q., Song, W., Zhao, B., Chen, C., Huang, R., Yuan, D., Gao, X., Li, B., Wang, C., & Wilson, J. P. (2022). Factors affecting cadmium accumulation in the soil profiles in an urban agricultural area. *Science of The Total Environment*, 807, 151027. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151027>
- Liao, S., Jin, G., Khan, M. A., Zhu, Y., Duan, L., Luo, W., Jia, J., Zhong, B., Ma, J., Ye, Z., & Liu, D. (2021). The quantitative source apportionment of heavy metals in peri-urban agricultural soils with UNMIX and input fluxes analysis. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101232. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101232>
- Liu, H., Zhang, Y., Yang, J., Wang, H., Li, Y., Shi, Y., Li, D., Holm, P. E., Ou, Q., & Hu, W. (2021). Quantitative source apportionment, risk assessment and distribution of heavy metals in agricultural soils from southern Shandong Peninsula of China. *Science of the Total Environment*, 10.
- Mariyanto, M., Amir, M. F., Utama, W., Hamdan, A. M., Bijaksana, S., Pratama, A., Yunginger, R., & Sudarningsih, S. (2019). Heavy metal contents and magnetic properties of surface sediments in volcanic and tropical environment from Brantas River, Jawa Timur Province, Indonesia. *Science of The Total Environment*, 675, 632–641. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.244>
- Matyakubov, B., Hwang, Y., & Lee, T.-J. (2022). Evaluating interactive toxic impact of heavy metals and variations of microbial community during fermentative hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(73), 31223–31240. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.07.038>
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine river. *Geojournal*, 2, 109–118.
- Naz, M., Dai, Z., Hussain, S., Tariq, M., Danish, S., Khan, I. U., Qi, S., & Du, D. (2022). The soil pH and heavy metals revealed their impact on soil microbial

- community. *Journal of Environmental Management*, 321, 115770. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115770>
- Nemerow, N. (1974). *Scientific Stream Pollution Analysis*. Scripta Book Co.
- Patle, A., Kurrey, R., Deb, M. K., Patle, T. K., Sinha, D., & Shrivastava, K. (2022). Analytical approaches on some selected toxic heavy metals in the environment and their socio-environmental impacts: A meticulous review. *Journal of the Indian Chemical Society*, 99(9), 100545. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100545>
- Pourret, O., & Bollinger, J.-C. (2018). "Heavy metal" - What to do now: To use or not to use? *Science of The Total Environment*, 610-611, 419-420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.043>
- Schaefer, H. R., Flannery, B. M., Crosby, L., Jones-Dominic, O. E., Punzalan, C., & Middleton, K. (2022). A systematic review of adverse health effects associated with oral cadmium exposure. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 134, 105243. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2022.105243>
- Shuaib, M., Azam, N., Bahadur, S., Romman, M., Yu, Q., & Xuexiu, C. (2021). Variation and succession of microbial communities under the conditions of persistent heavy metal and their survival mechanism. *Microbial Pathogenesis*, 150, 104713. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104713>
- Singh, P., Purakayastha, T. J., Mitra, S., Bhowmik, A., & Tsang, D. C. W. (2020). River water irrigation with heavy metal load influences soil biological activities and risk factors. *Journal of Environmental Management*, 270, 110517. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110517>
- Sisay, B., Debebe, E., Meresa, A., & Abera, T. (2019). Analysis of cadmium and lead using atomic absorption spectrophotometer in roadside soils of Jimma town. *Journal of Analytical & Pharmaceutical Research*, 8(4), 144-147. <https://doi.org/10.15406/japlr.2019.08.00329>
- Song, Y., Kang, L., Lin, F., Sun, N., Aizezi, A., Yang, Z., & Wu, X. (2022). Estimating the spatial distribution of soil heavy metals in oil mining area using air quality data. *Atmospheric Environment*, 287, 119274. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119274>
- Tian, K., Li, M., Hu, W., Fan, Y., Huang, B., & Zhao, Y. (2022). Environmental capacity of heavy metals in intensive agricultural soils: Insights from geochemical baselines and source apportionment. *Science of The Total Environment*, 819, 153078. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153078>
- Wedepohl, K. H. (1986). Chapter 5: The Composition of the Continental Crust. *International Geophysics*, 34(C), 213-241. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(09\)60137-6](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(09)60137-6)
- Wu, Q., Hu, W., Wang, H., Liu, P., Wang, X., & Huang, B. (2021). Spatial distribution, ecological risk and sources of heavy metals in soils from a typical economic development area, Southeastern China. *Science of The Total Environment*, 780, 146557. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146557>
- Xiang, Y., Li, C., Hao, H., Tong, Y., Chen, W., Zhao, G., & Liu, Y. (2021). Performances of biodegradable polymer composites with functions of nutrient slow-release and water retention in simulating heavy metal contaminated soil: Biodegradability and nutrient release characteristics. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126278>
- Yang, J., Wang, J., Liao, X., Tao, H., & Li, Y. (2022). Chain modeling for the biogeochemical nexus of cadmium in soil-rice-human health system. *Environment International*, 167, 107424. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107424>
- Yang, L., Meng, F., Ma, C., & Hou, D. (2022). Elucidating the spatial determinants of heavy metals pollution in different agricultural soils using geographically weighted regression. *Science of The Total Environment*, 853, 158628. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158628>
- Yuan, X., Xue, N., & Han, Z. (2021). A meta-analysis of heavy metals pollution in farmland and urban soils in China over the past 20 years. *Journal of Environmental Sciences*, 101, 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.08.013>
- Zhang, B., Jia, T., Peng, S., Yu, X., & She, D. (2022). Spatial distribution, source identification, and risk assessment of heavy metals in the cultivated soil of the Qinghai-Tibet Plateau region: Case study on Huzhu County. *Global Ecology and Conservation*, 35, e02073. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02073>
- Zhuang, Z., Mu, H., Fu, P., Wan, Y., Yu, Y., Wang, Q., & Li, H. (2020). Accumulation of potentially toxic elements in agricultural soil and scenario analysis of cadmium inputs by fertilization: A case study in Quzhou county. *Journal of Environmental Management*, 269, 110797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110797>