



## Karakteristik Distribusi, Analisis Sumber, dan Penilaian Risiko Kesehatan dari Logam Berat di Lahan Pertanian Kota Batu, Jawa Timur

## Distribution Characteristics, Sources Analysis, and Health Risks Assessment of Heavy Metals in Farmland Soil in Batu City, East Java

CICIK OKTASARI HANDAYANI<sup>1\*</sup>, SUKARJO<sup>1</sup>, HIDAYATUZ ZU'AMAH<sup>1</sup>, DAN TRIYANI DEWI<sup>1</sup>

Pusat Riset Hortikultura dan Perkebunan, Organisasi Riset Pertanian dan Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional Cibinong Science Center, Jl. Raya Jakarta-Bogor, Cibinong, Bogor, Indonesia, 16915

\*[cici002@brin.go.id](mailto:cici002@brin.go.id)/[cicik.oktasari@gmail.com](mailto:cicik.oktasari@gmail.com)

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 23 February 2023

Accepted 24 July 2023

Published 31 July 2023

#### Keywords:

Critical limit

Heavy metal

Soil

Spatial

### ABSTRACT

The presence of heavy metals in agricultural land is a serious problem because heavy metals are toxic, persistent, and non-biodegradable, so they can have an impact on the environment and human health. This study aims to analyze the distribution of heavy metals in agricultural land in Batu City and analyze the public health risks associated with metal concentrations in agricultural land. This study used a survey method for taking soil samples with a total of 292 points for taking soil samples. The analyzes performed included spatial analysis, correlation analysis, multivariate analysis, cluster analysis, and health risk analysis. The results of this study indicate that the concentrations of heavy metals Cd, Co, and As in agricultural land in Batu City have exceeded the critical limits (3, 25, and 2 mg kg<sup>-1</sup>). The spatial distribution shows that Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, and Zn are almost evenly distributed in all classifications. Multivariate analysis showed the presence of natural and anthropogenic sources of heavy metals in agricultural land in Batu City. Health risk analysis shows that the weekly consumption in children is about 6 times the weekly consumption of adults.

### INFORMASI ARTIKEL

#### Histori artikel:

Diterima 23 Pebruari 2023

Disetujui 24 Juli 2023

Diterbitkan 31 Juli 2023

#### Kata kunci:

Batas kritis

Logam berat

Tanah

Spasial

### ABSTRAK

Keberadaan logam berat pada lahan pertanian merupakan masalah serius karena logam berat bersifat toksik, persisten dan *non-biodegradable*, sehingga dapat berdampak pada lingkungan dan kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi logam berat yang ada di lahan pertanian Kota Batu dan menganalisis risiko kesehatan masyarakat kaitannya dengan konsentrasi logam di lahan pertanian. Penelitian ini menggunakan metode survei pengambilan contoh tanah dengan jumlah titik lokasi pengambilan contoh tanah sebanyak 292 titik. Analisis yang dilakukan antara lain analisis spasial, analisis korelasi, analisis multivariat, cluster analysis, dan analisis risiko kesehatan. Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Cd, Co, dan As di lahan pertanian Kota Batu telah melebihi batas kritis (3, 25, dan 2 mg kg<sup>-1</sup>). Distribusi spasial menunjukkan logam Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, dan Zn sebaran pada semua klasifikasi hampir merata. Analisis multivariat menunjukkan adanya sumber alami dan sumber antropogenik pada logam berat di lahan pertanian Kota Batu. Analisis risiko kesehatan menunjukkan bahwa konsumsi mingguan pada anak-anak sekitar 6 kali lipat dari konsumsi mingguan orang dewasa.

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Keberadaan logam berat pada tanah disebabkan berbagai sumber terutama sumber yang berasal dari pemanfaatan lahannya (Zeng et al., 2022). Pada lahan pertanian, sumber utama logam berat berasal dari aplikasi pupuk dan pestisida kimia yang digunakan petani secara intensif (Tian et al., 2022), sedangkan sumber lainnya antara lain dari bahan induk tanah, kegiatan pertambangan (Liu et al., 2021), emisi kendaraan bermotor (Wang et al., 2019), dan kegiatan industri (Zhou et al., 2022). Logam Cd pada tanah merupakan logam berat yang paling banyak bersumber dari kegiatan pertanian (Yang et al., 2022).

Beberapa pupuk kandang yang dapat mengakumulasi logam berat antara lain kotoran sapi (Zhang et al., 2020), kotoran babi (Li et al., 2020), dan kotoran ayam (Wan et al., 2020). Aplikasi pupuk kandang secara nyata meningkatkan total Pb, Cu, dan Zn dalam tanah (Cai et al., 2021). Aplikasi pupuk dari kotoran babi sebesar 250 ton per ha per tahun dapat meningkatkan konsentrasi logam As, Hg, Cr, Cu, Zn, dan Mn pada tanah dengan peningkatan rata-rata tahunan secara berturut-turut sebesar 0,57, 0,011, 6,20, 5,64, 22,58, dan 23,45 mg.kg<sup>-1</sup> (Qian et al., 2018). Aplikasi pupuk fosfor dalam jangka panjang disinyalir juga dapat meningkatkan akumulasi logam Zn, Pb, dan Cd pada lapisan tanah atas (Chen et al., 2020). Pestisida dengan bahan aktif glifosat dan klorpirifos disinyalir mengandung logam berat As, Cr, dan Pb di atas nilai yang ditentukan oleh WHO (As 10 ppb, Cr 50 ppb, Ni 20 ppm, Pb 10 ppb) (Defarge et al., 2018).

Kontaminasi logam berat di lahan pertanian merupakan masalah yang serius karena sifat logam berat yang memiliki toksisitas tinggi, persisten, dan *non-biodegradable* (Jiang et al., 2020; Wei et al., 2022). Akumulasi logam berat di lahan pertanian dapat berdampak pada air permukaan, air tanah, dan kesehatan manusia melalui rantai makanan (Guan et al., 2018; Shen et al., 2021). Beberapa penyakit yang disebabkan adanya akumulasi logam berat pada tubuh manusia antara lain penyakit kardiovaskuler, obesitas, autoimun, dan berbagai macam kanker (Duan et al., 2020; Nasab et al., 2022; Aleksandrov et al., 2021).

Sektor pertanian di Kota Batu merupakan sektor utama yang menunjang perekonomian masyarakat. Lahan pertanian Kota Batu terbagi menjadi pertanian pangan, hortikultura, dan perkebunan. Petani di Kota Batu menggunakan pestisida dan pupuk kandang yang intensif terutama pada budidaya pertanian hortikultura (Mukti et al., 2017; Sumiati & Julianto, 2017). Produk hortikultura unggulan di Kota Batu antara lain tomat, kubit, peterseli, daun bawang, wortel, kentang, jeruk, dan apel (BPS Kota Batu, 2021). Berdasarkan uraian mengenai besarnya dampak logam berat pada lingkungan dan kesehatan masyarakat, maka perlu adanya evaluasi status dan sumber logam berat pada lahan pertanian agar dapat digunakan untuk monitoring dan pengendalian pencemaran logam berat pada lahan pertanian.

### 1.2 Tujuan Penelitian

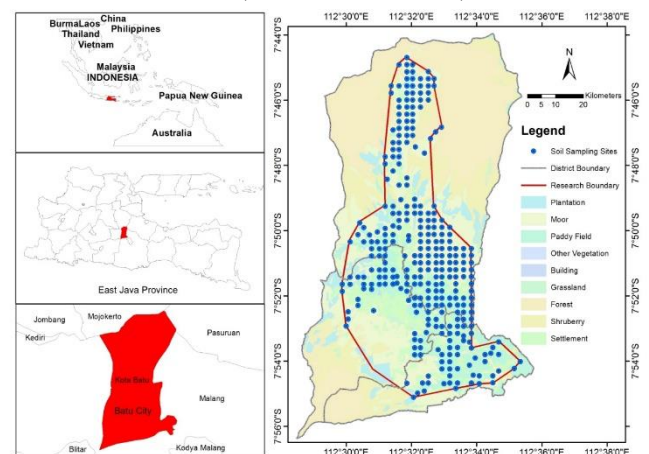
Penelitian ini bertujuan untuk dapat memberikan analisis status logam berat pada lahan pertanian di Kota Batu secara spasial, analisis sumber-sumber logam berat dan

analisis risiko kesehatan masyarakat di sekitar lahan pertanian.

## 2. METODE

### 2.1 Lokasi Penelitian

Kota Batu merupakan salah kota/kabupaten di Propinsi Jawa Timur. Posisi Kota Batu secara geografis terletak pada koordinat 7°44',55,11' sampai 8°26',35,45' Lintang Selatan dan 122°17',10,90' sampai 122°57',00,00' Bujur Timur (Gambar 1). Luas kawasan Kota Batu secara keseluruhan adalah sekitar 199,09 Km<sup>2</sup> terbagi ke dalam 3 kecamatan yaitu Kecamatan Bumiaji, Kecamatan Batu, dan Kecamatan Junrejo. Kecamatan Bumiaji merupakan kecamatan yang wilayahnya paling luas dibandingkan dua kecamatan lainnya. Kota Batu terletak pada ketinggian rata-rata 897 m di atas permukaan laut. Dilihat dari ketinggian wilayahnya, sebagian besar daerah di Kota Batu terletak di daerah perbukitan/lereng. Rata-rata curah hujan sebesar 141 mm/bulan dengan jumlah hari hujan sebanyak 259 hari. Suhu rata-rata sebesar 22°C dengan suhu terendah pada bulan Desember sebesar 10°C. Luas penggunaan lahan pertanian Kota Batu seluas 7.230 Ha yang terdiri dari lahan pertanian lahan basah dan pertanian lahan kering/tegalan/kebun campur masing-masing dengan luas 1.860 Ha dan 5.370 Ha (BPS Kota Batu, 2021).



Gambar 1. Lokasi pengambilan contoh tanah di lahan pertanian Kota Batu

### 2.2 Teknik Pengambilan dan Analisis Contoh Tanah

Penentuan titik pengambilan sampel tanah dilakukan dengan metode grid pada satuan (unit) lahan pada peta penggunaan lahan (Gambar 1). Pengambilan sampel sebanyak 292 sampel dilakukan dengan metode survei. Satu titik sampling terdiri dari 5-10 contoh individual (subcontoh), dengan jarak pengambilan tiap subcontoh 25-50 m di lapang. Parameter yang diamati meliputi logam berat Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, Mn, Zn, dan As. Contoh tanah hasil survei lapangan yang diambil pada kedalaman yaitu 0-20 cm. Selanjutnya contoh-contoh tanah tersebut dianalisis kandungan logam beratnya di Laboratorium Terpadu Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Badan Litbang Kementerian Pertanian. Metode analisis logam berat pada sampel tanah dilakukan dengan menggunakan *Atomic Absorption 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.

**2.3 Analisis Spasial dan Statistik**

Spasial analisis digunakan untuk melihat pola distribusi logam berat pada lahan pertanian di Kota Batu yang ditunjukkan pada peta sebaran logam berat. Analisis statistik yang digunakan yaitu uji korelasi dan uji multivariat dengan menggunakan software SPSS. Uji korelasi dilakukan untuk mengetahui korelasi antar logam berat pada tanah. Analisis multivariat yang digunakan adalah model *principal component analysis* (PCA) dan *cluster analysis* (CA), model ini digunakan untuk mengetahui kesamaan dan perbedaan karakteristik nilai konsentrasi semua logam berat yang diamati antar lokasi pengambilan contoh tanah.

**2.4 Analisis Risiko Kesehatan**

Risiko kesehatan pada masyarakat akibat dari logam berat yang ada pada lahan pertanian dapat dianalisis melalui rata-rata asupan harian/*average daily intake* (ADI) paparan konsumsi tanah yang dievaluasi menggunakan persamaan 1 dan 2 sebagai berikut (U.S. Environmental Protection Agency, 2001):

$$ADI_{\text{anak-anak}} = \frac{C \times IR_{\text{anak}}}{BW_{\text{anak}}} \dots\dots\dots (1)$$

$$ADI_{\text{dewasa}} = \frac{C \times IR_{\text{dewasa}}}{BW_{\text{dewasa}}} \dots\dots\dots (2)$$

ADIANak-anak dan ADIdewasa adalah asupan harian (mg.kg<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup>) untuk anak dan dewasa, C adalah kandungan logam berat dalam tanah (mg.kg<sup>-1</sup>), IR adalah tingkat konsumsi tanah (kg.hari<sup>-1</sup>), dan BW adalah berat badan (kg). Formula asupan rata-rata harian ini merupakan rasio antara perkalian konsentrasi logam berat dan tingkat konsumsi dengan berat badan. Formula ini telah umum digunakan untuk mengetahui asupan rata-rata harian paparan logam berat melalui saluran pencernaan dari tanah dan baru-baru ini digunakan pada penelitian mengenai risiko kesehatan di daerah pedesaan Jepang Barat (Nakagawa et al., 2022). Nilai average daily intake (ADI) dibandingkan dengan nilai PTWI (provisional tolerable weekly intake) yang ditetapkan oleh FAO/WHO (Naseri et al., 2014).

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Status dan Distribusi Logam Berat**

Pada lahan pertanian Kota Batu konsentrasi logam berat Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, Mn, Zn, dan As hampir terdeteksi pada semua lokasi pengambilan sampel tanah (Tabel 1).

Tabel 1. Statistik deskriptif logam berat di tanah pertanian Kota Batu (n=292)

Statistik	Pb	Cd	Co	Cr	Ni	Cu	Mn	Zn	As
	----- mg kg-1 -----								
Mean	11,06	1,06	16,69	7,88	5,43	5,90	78,55	13,32	6,55
Standard Error	0,50	0,05	0,40	0,18	0,25	0,19	4,29	0,90	0,48
Median	10,01	1,02	16,42	7,24	5,15	5,74	68,19	7,68	3,99
Standard Deviation	8,52	0,77	6,89	3,06	4,26	3,28	73,28	15,30	8,18
Sample Variance	72,57	0,59	47,54	9,35	18,13	10,76	5369,76	233,96	66,83
Kurtosis	3,22	3,00	3,27	2,81	3,94	5,98	3,86	2,36	8,95
Skewness	1,28	1,20	1,02	1,21	1,38	1,38	1,60	1,79	2,83
Range	49,88	4,23	47,77	20,69	25,63	26,59	464,03	60,78	52,93
Minimum	0,00	0,00	1,79	1,80	0,00	0,33	0,20	0,12	0,00
Maximum	49,88	4,23	49,56	22,49	25,63	26,92	464,23	60,90	52,93
Count	292	292	292	292	292	292	292	292	292
Confidence Level(95.0%)	0,98	0,09	0,79	0,35	0,49	0,38	8,44	1,76	0,94
CV (%)	77,03	72,97	41,32	38,80	78,44	55,61	93,28	114,86	124,78
Batas kritis (Alloway, 1995)	100-400	3-8	25-50	75-100	100	60-125	1500-3000	70-400	20

Nilai maksimal logam Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, Mn, Zn, dan As yang terdeteksi pada lahan pertanian Kota Batu berturut-turut sebagai berikut 49,88; 4,23; 49,59; 22,49; 25,63; 26,92; 464,23; 60,90; dan 52,93 mg kg-1. Berdasarkan nilai maksimal tersebut jika dibandingkan dengan batas kritis logam berat di tanah maka untuk logam Pb, Cr, Ni, Cu, Mn, dan Zn masih berapa di bawah batas kritis (Alloway, 1995), sedangkan untuk logam Cd, Co, dan As nilainya telah melebihi batas kritis (3, 25, dan 2 mg kg-1). Batas kritis merupakan ambang batas dari potensi risiko terhadap tanah, air, tanaman, dan manusia, yang berhubungan dengan risiko ekotoksikologi atau toksikologi manusia (Vries et al. 2012).

Hal tersebut menunjukkan bahwa beberapa lokasi pengambilan contoh tanah telah tercemar logam Cd, Co, dan As.

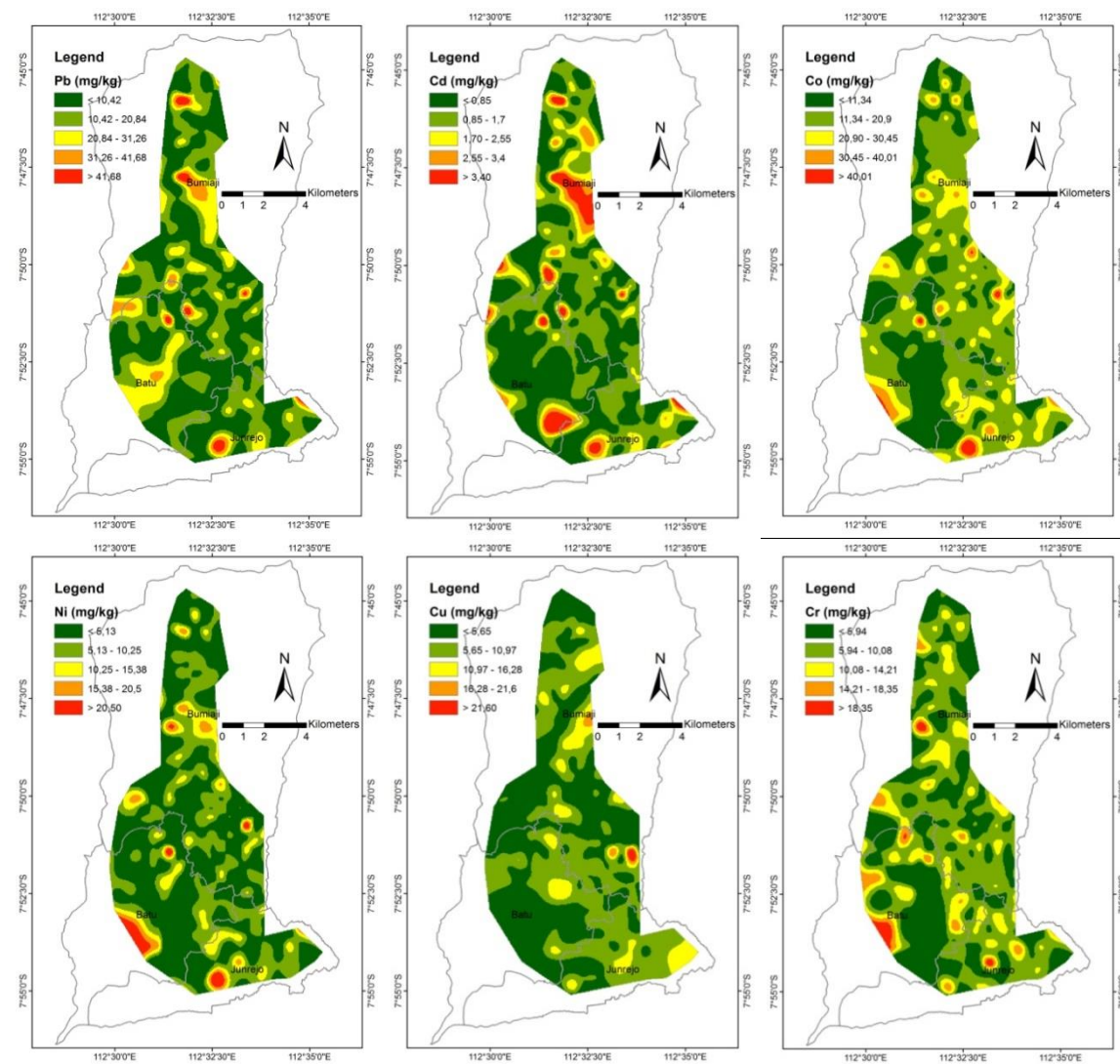
Sumber utama logam Cd pada lahan pertanian secara langsung adalah aplikasi berbagai jenis pupuk seperti pupuk kandang (Lin et al., 2021), pupuk fosfat (McDowell & Gray, 2022), N, P, K, dan pupuk majemuk (Qin et al., 2021). Aplikasi pestisida juga bisa meningkatkan konsentrasi Cu dan logam berat lainnya dalam tanah (W. R. Liu et al., 2020). Perbedaan tingkat konsentrasi Cd pada tanah diberbagai lahan pertanian dapat disebabkan oleh bahan induk tanahnya (Li et al., 2022). Logam Co dan As dapat berasal dari kegiatan sehari-hari

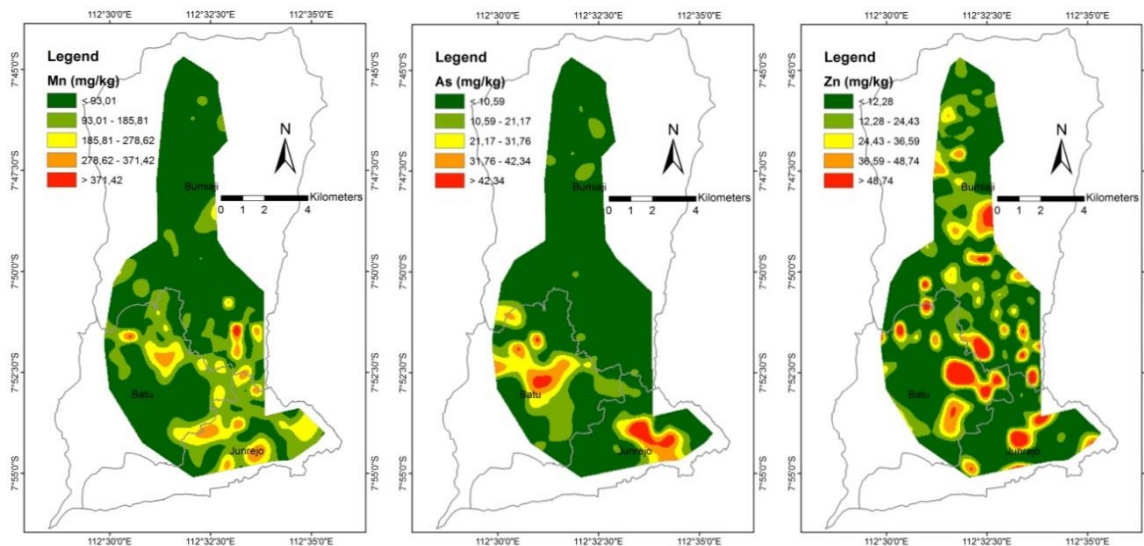
(Yang et al., 2022), pertambangan (Liu et al., 2020), dan juga aktivitas pertanian intensif (Tian et al., 2022).

Distribusi dan variasi spasial logam berat di lahan pertanian Kota Batu secara tidak langsung dihitung dengan nilai variasi koefisien (CV). Nilai CV logam Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, Mn, Zn, dan As berturut turut sebesar 77,03; 72,97; 41,32; 38,80; 78,44; 55,61; 93,28%; 114,86; dan 124,78%. Koefisien variasi (CV) dapat menjelaskan derajat variasi dari logam berat di mana  $CV < 10\%$  menunjukkan variasi yang lemah, CV di antara 10–90% menunjukkan variasi sedang, dan  $CV > 90\%$  berarti variasi tinggi (Zhao et al., 2019). Semakin tinggi CV menunjukkan dampak yang lebih besar dari aktivitas manusia, sedangkan kebalikannya semakin rendah CV menunjukkan pengaruh faktor alam yang lebih besar (Baltas et al., 2020). Nilai CV logam berat Pb, Cd, Co, Cr, Ni, dan Cu berkisar antara 38,80-77,03% 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 Mn, Zn, dan As  $> 90\%$ , hal tersebut menunjukkan kategori variasi yang tinggi dan distribusi logam berat sangat fluktuatif sehingga menunjukkan adanya pengaruh kegiatan anthropogenik yang tinggi terhadap status logam berat pada lahan pertanian (Jiang et al., 2019).

Distribusi spasial dari logam Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, Mn, Zn, dan As di tanah pertanian Kota Batu dapat dilihat pada Gambar. 2. Pola sebaran logam berat pada lahan pertanian di Kota Batu tampak menyebar dan tidak ada pengelompokan pada konsentrasi dan lokasi tertentu. Sebaran logam Mn dan As dominan pada konsentrasi pada klasifikasi terendah yaitu berkisar antara  $< 93,01$  dan  $10,59 \text{ mg.kg}^{-1}$ , sedangkan untuk logam Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, dan Zn sebaran pada semua klasifikasi hampir merata.





Gambar 2. Distribusi spasial konsentrasi logam berat di lahan pertanian Kota Batu

**3.2 Analisis Korelasi**

Koefisien korelasi antar logam berat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis korelasi antar logam berat

	Pb	Cd	Co	Cr	Ni	Mn
Pb	1					
Cd	0,788**	1				
Co	0,359**	0,474**	1			
Cr	0,026	0,192**	0,487**	1		
Ni	0,503**	0,595**	0,906**	0,449**	1	
Mn	-0,111	-0,033	-0,020	0,112*	-0,046	1
Cu	-0,010	-0,055	0,128*	0,066	0,061	0,311**
Zn	-0,147**	-0,079	-0,097	0,111	-0,128*	0,205**
As	-0,052	-0,084	-0,090	0,097	-0,105	0,158**

\*. Significant correlation at the 0.05 level (2-tailed).

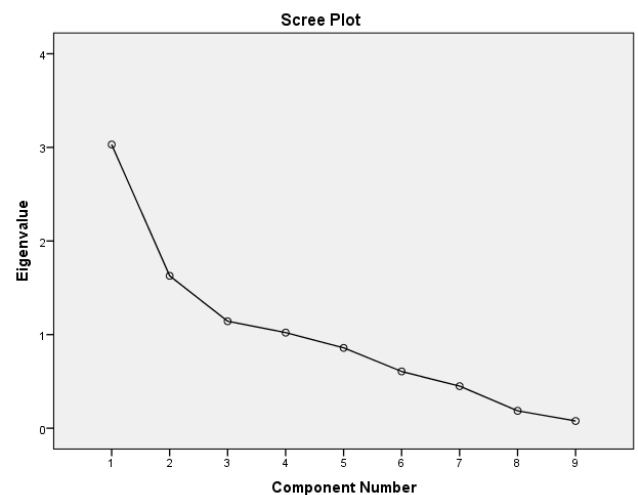
\*\*.. Significant correlation at the 0.01 level (2-tailed).

Koefisien korelasi dapat memberikan informasi menarik tentang sumber logam berat. Korelasi positif yang sangat signifikan diamati antara logam Pb dengan Cd ( $r=0,788^{**}$ ), Co ( $r=0,359^{**}$ ), dan Ni ( $r=0,503^{**}$ ), logam Cd dengan Co ( $r=0,474^{**}$ ), Cr ( $r=0,192^{**}$ ), dan Ni ( $r=0,595^{**}$ ), logam Co dengan Cr ( $r=0,487^{**}$ ), dan Ni ( $r=0,906^{**}$ ), logam Cr dengan Ni ( $r=0,449^{*}$ ) dan logam Mn dengan Cu ( $r=0,311^{**}$ ), Zn ( $r=0,205^{**}$ ), dan As ( $r=0,158^{**}$ ). Hal ini menunjukkan bahwa logam berat tersebut mungkin berasal dari sumber dan proses penyebaran yang sama. Korelasi negatif yang signifikan dapat diamati antara Pb dan Zn ( $r=-0,147^{**}$ ), hal ini menunjukkan bahwa Pb dan Zn mungkin memiliki sumber yang berbeda (Zhang et al., 2022).

**3.3 Analisis Multivariat**

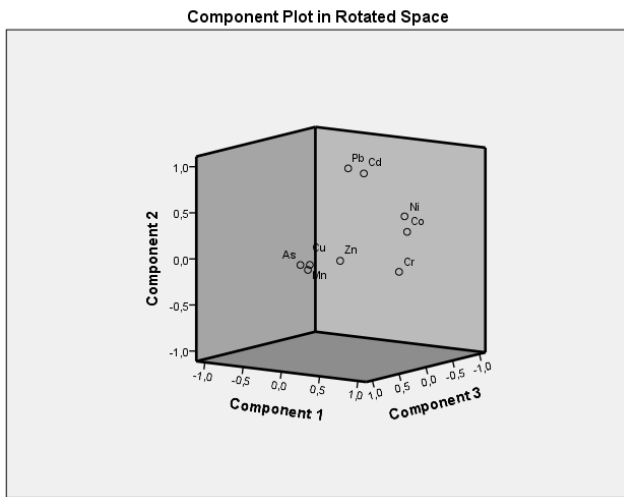
Analisis *principal component analysis* (PCA) digunakan untuk mengidentifikasi komponen utama yang terkait dengan sumber logam berat pada lahan pertanian di Kota Batu. Scree plot dari vektor eigen sebagai fungsi bilangan faktor ditunjukkan pada Gambar 3. Scree plot digunakan

untuk mengidentifikasi jumlah komponen utama. Jumlah komponen utama ditentukan berdasarkan komponen dengan nilai eigen lebih besar dari 1. Nilai eigen yang memenuhi syarat untuk membentuk komponen utama ada empat yaitu 3,031; 1,628; 1,143; dan 1,021.



Gambar 3. Scree plot dari analisis komponen utama

Faktor yang mempengaruhi logam berat dapat dijelaskan lebih baik dengan menggunakan analisis rotasi varimax yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan plot komponen di ruang berputar dari analisis komponen utama (Gambar 4.) Ada empat faktor menurut kriteria ini dapat mewakili 75,804% dari varians total sehingga dapat menunjukkan informasi sebagian besar logam berat di lahan pertanian. Proporsi keempat komponen utama (PC) masing-masing adalah 33,673; 18,086; 12,697; dan 11,349%. Hubungan antara jenis logam berat dengan komponen utama menunjukkan faktor yang berhubungan dengan komposisi sumber logam berat (Pandey et al., 2014).



Gambar 4. Plot komponen dalam ruang putar analisis komponen utama

Tabel 3. Analisis komponen utama (PCA) dengan rotasi varimax untuk semua logam berat yang diamati dalam sampel tanah

Rotated Component Matrix				
Element	Component			
	PC1	PC2	PC3	PC4
Pb	0,076	0,938	-0,027	-0,100
Cd	0,261	0,897	-0,057	0,023
Co	0,862	0,332	-0,006	-0,143
Cr	0,816	-0,095	0,079	0,213
Ni	0,797	0,487	-0,051	-0,143
Mn	0,040	-0,017	0,638	0,413
Cu	0,128	-0,040	0,797	-0,240
Zn	0,002	-0,067	0,015	0,914
As	-0,079	-0,029	0,643	,062
<i>Eigenvalues</i>	3,031	1,628	1,143	1,021
<i>% of variance</i>	33,673	18,086	12,697	11,349
<i>cumulative %</i>	33,673	51,759	64,455	75,804

Komponen utama pertama (PC1) merupakan komponen dengan nilai varians tertinggi yaitu sebesar 33,673%. Pada komponen ini logam dengan nilai positif yang tinggi yaitu pada logam Co (0,862), Cr (0,816), dan Ni (0,797). Nilai positif yang tinggi pada suatu komponen menunjukkan adanya sumber antropogenik yang sama (Jaskuła & Sojka, 2022). Konsentrasi logam Co telah melebihi batas kritis sedangkan logam Cr dan Ni masih di bawah batas kritis logam berat di tanah. Sumber logam Co, Cr, dan Ni selain dari

Tabel 4. Analisis cluster (CA) untuk semua logam berat yang diamati dalam sampel tanah

Jumlah contoh tanah	Pb	Cd	Co	Cr	Ni	Mn	Cu	Zn	As	
mg/kg										
Grup 1	275	11,06	1,06	16,69	7,88	5,43	5,90	125,87	78,55	13,32
Grup 2	2	15,32	0,85	15,10	7,53	4,64	7,26	214,51	136,76	7,30
Grup 3	10	17,81	1,46	16,63	7,98	5,91	5,01	101,11	76,20	11,28
Grup 4	3	12,00	0,80	15,65	4,83	6,59	4,94	211,60	87,08	4,75
Grup 5	2	5,77	0,65	14,54	10,43	3,26	3,91	165,72	98,53	2,54

faktor alami juga ada kemungkinan berasal dari limbah buangan yang berasal dari permukiman masyarakat dan infrastruktur pendukung pariwisata (Opoku et al., 2020). Saat ini sektor pariwisata dan permukiman di Kota Batu mengalami peningkatan dengan banyaknya alih fungsi lahan pertanian menjadi permukiman dan fasilitas pendukung pariwisata (Subagiyo et al., 2020).

Komponen utama kedua (PC2) dengan nilai varians sebesar 18,086%. pada komponen ini logam berat dengan nilai positif yang tinggi yaitu Pb (0,938) dan Cd (0,897). Nilai konsentrasi logam Pb di lahan pertanian Kota Batu berada di bawah batas kritis sedangkan logam Cd telah berada di atas batas kritis logam berat pada tanah. Logam Pb dan Cd kemungkinan bersumber dari aktivitas pertanian yang intensif. Penggunaan pupuk dan pestisida kimia secara berlebihan merupakan sumber utama logam Cd pada lahan pertanian (Agyeman et al., 2022). Pemupukan fosfor dalam jangka waktu panjang dapat mengakumulasi logam Pb pada lahan pertanian (Chen et al., 2020), selain itu juga sumber logam Pb dapat berasal dari pembuangan gas kendaraan bermotor (Akhtar et al., 2022). Pertanian Kota Batu khususnya di Kecamatan Bumiaji cukup intensif dengan budidaya tanaman hortikultura (Rachmadian et al., 2021).

Komponen utama ketiga (PC3) dengan nilai varian sebesar 12,697% memiliki nilai positif pada logam berat Mn (0,638), Cu (0,797), dan As (0,643). Konsentrasi logam As telah melebihi batas kritis sedangkan logam Mn dan Cu masih di bawah batas kritis logam berat di tanah. Sumber dari logam As, Mn dan Cu selain dari faktor alami juga kemungkinan dapat bersumber dari aktivitas industri yang ada di Kota Batu. Kota Batu memiliki industri unggulan di bidang industri makanan, industri barang dari logam, dan industri kimia (BPS Kota Batu, 2020). Tingginya konsentrasi As pada lahan pertanian akan berdampak pada kesehatan masyarakat yang mengkonsumsi beras karena logam As akan terakumulasi pada beras yang ditanam dari lahan pertanian tersebut (Rokonuzzaman et al., 2022).

Komponen utama keempat (PC4) dengan nilai varians sebesar 11,349% memiliki nilai positif pada logam berat Zn (0,914). Konsentrasi logam Zn di lahan pertanian Kota Batu nilainya masih di bawah batas kritis sehingga dimungkinkan sumber logam Zn berasal dari sumber alami seperti dari bahan induk tanah.

### 3.4 Analisis Cluster

Analisis cluster digunakan untuk mengetahui kesamaan dan perbedaan karakteristik nilai konsentrasi semua logam berat yang diamati antar lokasi pengambilan contoh tanah. Pengklasifikasian lima grup berdasarkan lokasi pengambilan contoh tanah dapat dilihat pada Tabel 4.

Grup dengan jumlah anggota terbanyak yaitu grup 1 dengan jumlah anggota sebanyak 275 lokasi pengambilan contoh tanah. Hal tersebut menunjukkan bahwa sebanyak 275 lokasi pengambilan contoh tanah memiliki kesamaan sumber logam beratnya (Ouaty et al., 2022). Pada grup 2, 3, 4, dan 5 dengan anggota berturut-turut sebanyak 2, 10, 3, dan 2 lokasi pengambilan contoh tanah juga terdapat kemungkinan adanya sumber logam berat yang sama pada lokasi pengambilan contoh tanah dimasing-masing grup.

Tabel 5. Rata-rata asupan harian/average daily intake (ADI) dan rata-rata asupan mingguan/average weekly intake (AWI) logam berat pada anak-anak dan orang dewasa

Logam berat	ADI (anak-anak)	ADI (dewasa)	AWI (anak-anak)	AWI (dewasa)	Toleransi sementara asupan mingguan	Sumber referensi
	mg.kg <sup>-1</sup> .hari <sup>-1</sup>		mg.kg <sup>-1</sup> .minggu <sup>-1</sup>		mg.kg <sup>-1</sup> .minggu <sup>-1</sup>	
Pb	0,1053	0,017	0,737	0,122	0,0250	JECFA, 2011
Cd	0,0101	0,002	0,070	0,012	0,0070	JECFA, 2011
Cr	0,0751	0,012	0,525	0,087	0,0233	JECFA, 2011
Ni	0,0517	0,009	0,362	0,060	0,0350	JECFA, 2011
As	0,0624	0,010	0,437	0,072	0,015	JECFA, 2011
Zn	0,1268	0,021	0,888	0,147	7	JECFA, 2011
Cu	0,0562	0,009	0,393	0,065	3,5	JECFA, 2011
Co	0,1589	0,026	1,112	0,184	0,0098	RIVM, 2001
Mn	0,7481	0,124	5,237	0,865	70	SCF, 2001

Asupan mingguan logam Pb, Cd, Cr, Ni, As, dan Co pada anak-anak telah melebihi batas toleransi sementara asupan mingguan yang ditetapkan oleh FAO/WHO (JECFA, 2011; RIVM, 2001). Pada asupan mingguan orang dewasa untuk logam Pb, Cd, Cr, As, dan Co juga telah melebihi batas toleransi sementara asupan mingguan. Nilai batas toleransi asupan mingguan logam Pb, Cd, Cr, Ni, As, dan Co berturut-turut yaitu 0,0250; 0,0070; 0,0233; 0,0350; 0,0150 dan 0,0098 mg.kg<sup>-1</sup>.minggu<sup>-1</sup>. Nilai asupan harian pada anak-anak jauh lebih besar dibanding orang dewasa yaitu sekitar 6 kali lipat dari asupan harian orang dewasa. Besarnya nilai asupan beberapa logam baik pada asupan mingguan anak-anak dan orang dewasa maka perlu menjadi kewaspadaan bagi masyarakat sekitar lahan pertanian Kota Batu agar menghindari untuk mengkonsumsi tanah dari lahan pertanian baik disengaja maupun tidak disengaja. Kewaspadaan terhadap anak-anak harus lebih ditingkatkan mengingat anak-anak jauh lebih rentan terhadap polutan dan tinggi asupan harian logam beratnya dibanding dengan orang dewasa maka dengan menjaga agar anak-anak tidak sering berinteraksi dengan lahan pertanian karena akan meningkatkan potensi paparan logam berat melalui saluran pencernaan dari tanah dan akan berdampak terhadap kesehatan.

Logam Co dan Pb merupakan dua logam yang telah melebihi batas toleransi asupan mingguan dengan nilai yang cukup tinggi, khususnya pada anak-anak yaitu sebesar 0,737 dan 1,112 mg.kg<sup>-1</sup>.minggu<sup>-1</sup>. Kelebihan logam Co dan Pb pada tubuh manusia dapat berdampak pada kesehatannya, seperti penyebab timbulnya penyakit-penyakit kardiovaskuler (Yan

### 3.5 Analisis Risiko Kesehatan

Asupan rata-rata harian logam berat pada anak-anak lebih besar untuk semua logam dibanding dengan asupan rata-rata harian logam berat pada orang dewasa. Besaran asupan rata-rata harian logam berat berturut-turut adalah Mn>Co>Zn>Pb>Cr>As>Cu>Ni>Cd. Besaran asupan rata-rata harian dan mingguan paparan logam berat melalui saluran pencernaan dari tanah di lahan pertanian dapat dilihat pada Tabel 5.

et al., 2022), autoimun (Biglia et al., 2020) dan kanker (Leroyer et al., 2022).

### 4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Cd, Co, dan As di lahan pertanian Kota Batu telah melebihi batas kritis logam berat pada tanah (3, 25, dan 2 mg.kg<sup>-1</sup>). Distribusi spasial menunjukkan bahwa sebaran logam Mn dan As dominan pada klasifikasi konsentrasi terendah yaitu berkisar antara <93,01 mg.kg<sup>-1</sup> dan <10,59 mg.kg<sup>-1</sup>, sedangkan untuk logam Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, dan Zn sebaran pada semua klasifikasi hampir merata. Analisis multivariat menunjukkan adanya sumber alami dan sumber antropogenik pada logam berat di lahan pertanian Kota Batu. Analisis risiko kesehatan menunjukkan bahwa konsumsi mingguan logam Pb, Cd, Cr, As, dan Co pada anak-anak dan dewasa telah melebihi batas toleransi mingguan (0,0250; 0,0070; 0,0233; 0,0350, dan 0,0098 mg.kg<sup>-1</sup>.minggu<sup>-1</sup>). Hal tersebut sangat perlu untuk menjadi kewaspadaan bagi masyarakat di sekitar lahan pertanian agar tidak secara sengaja maupun tidak sengaja mengkonsumsi tanah dari lahan pertanian, karena akan berdampak terhadap kesehatan.

### PERSANTUNAN

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian Kementerian Pertanian atas dukungan pembiayaan dan fasilitas laboratorium pada penelitian ini. Penghargaan yang tinggi penulis sampaikan kepada rekan-rekan teknisi dan analis Laboratorium Terpadu

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian atas bantuannya selama pelaksanaan penelitian berlangsung.

#### 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>
- Akhtar, S., Khan, Z. I., Ahmad, K., Nadeem, M., Ejaz, A., Hussain, M. I., & Ashraf, M. A. (2022). Assessment of lead toxicity in diverse irrigation regimes and potential health implications of agriculturally grown crops in Pakistan. *Agricultural Water Management*, 271, 107743. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107743>
- Aleksandrov, A.P., Mirkov, I., Tucovic, D., Kulas, J., Zeljkovic, M., Popovic, D., Ninkov, M., Jankovic, S., & Kataranovski, M. (2021). Immunomodulation by heavy metals as a contributing factor to inflammatory diseases and autoimmune reactions: Cadmium as an example. *Immunology Letters*, 240, 106–122. <https://doi.org/10.1016/j.imlet.2021.10.003>
- Baltas, H., Sirin, M., Gökbayrak, E., & Ozcelik, A. E. (2020). A case study on pollution and a human health risk assessment of heavy metals in agricultural soils around Sinop province, Turkey. *Chemosphere*, 241, 125015. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125015>
- Biglia, A., Morandi, V., Monti, S., Delvino, P., Cavagna, L., & Montecucco, C. (2020). Cobalt hip prosthesis intoxication mimicking an autoimmune disease. *Joint Bone Spine*, 87(6), 652–654. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2020.05.014>
- BPS Kota Batu. (2020). *Data Sensus: Keadaan Industri Besar Sedang Dirinci Menurut Sub Sektor Industri di Kota Batu, 2018*. Badan Pusat Statistik Kota Batu.
- BPS Kota Batu. (2021). *Kota Batu Dalam Angka Tahun 2021*. Badan Pusat Statistik Kota Batu.
- Cai, Z., Wang, B., Zhang, L., Wen, S., Xu, M., Misselbrook, T. H., Carswell, A. M., & Gao, S. (2021). Striking a balance between N sources: Mitigating soil acidification and accumulation of phosphorous and heavy metals from manure. *Science of the Total Environment*, 754(12), 142189. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142189>
- Chen, X.-X., Liu, Y.-M., Zhao, Q.-Y., Cao, W.-Q., Chen, X.-P., & Zou, C.-Q. (2020). Health risk assessment associated with heavy metal accumulation in wheat after long-term phosphorus fertilizer application. *Environmental Pollution*, 262, 114348. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114348>
- 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>
- Duan, W., Xu, C., Liu, Q., Xu, J., Weng, Z., Zhang, X., Basnet, T. B., Dahal, M., & Gu, A. (2020). Levels of a mixture of heavy metals in blood and urine and all-cause, cardiovascular disease and cancer mortality: A population-based cohort study. *Environmental Pollution*, 263, 114630. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114630>
- Eviati, & Sulaeman. (2009). *Petunjuk Teknis Edisi 2 Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk* (2nd ed.). Balai Penelitian Tanah.
- Guan, Q., Wang, F., Xu, C., Pan, N., Lin, J., Zhao, R., Yang, Y., & Luo, H. (2018). Source apportionment of heavy metals in agricultural soil based on PMF: A case study in Hexi Corridor, northwest China. *Chemosphere*, 193, 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.151>
- Jaskuła, J., & Sojka, M. (2022). Assessment of spatial distribution of sediment contamination with heavy metals in the two biggest rivers in Poland. *Catena*, 211, 105959. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105959>
- JECFA. (2011). Meeting (72nd: 2010: Rome, Italy), World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations. Safety evaluation of certain contaminants in food: prepared by the Seventy-second meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44520>
- Jiang, F., Ren, B., Hursthouse, A., Deng, R., & Wang, Z. (2019). Distribution, source identification, and ecological-health risks of potentially toxic elements (PTEs) in soil of thallium mine area (southwestern Guizhou, China). *Environmental Science and Pollution Research* 26(16) 16556–16567. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04997-3>
- Jiang, H. H., Cai, L. M., Wen, H. H., Hu, G. C., Chen, L. G., & Luo, J. (2020). An integrated approach to quantifying ecological and human health risks from different sources of soil heavy metals. *Science of the Total Environment*, 701, 134466. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134466>
- Leroyer, A., Gomajee, H., Leroy, R., Mazzuca, M., Leleu, B., & Nisse, C. (2022). Cancer mortality and chemical exposure in a retrospective zinc and lead smelter cohort: A 48-year follow-up. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 242, 113955. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.113955>
- Li, F., Wu, X., Ji, W., Gui, X., Chen, Y., Zhao, J., Zhou, C., & Ren, T. (2020). Effects of pyrolysis temperature on properties of swine manure biochar and its environmental risks of heavy metals. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 152, 104945. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104945>
- Li, Q., Deng, Q., Fang, H., Yu, X., Fan, Z. M., 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>
- Lin, H., Sun, W., Yu, Y., Ding, Y., Yang, Y., Zhang, Z., & Ma, J. (2021). Simultaneous reductions in antibiotics and heavy metal pollution during manure composting. *Science of the Total Environment*, 788, 147830. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147830>
- 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*, 767, 144879. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144879>
- Liu, W. R., Zeng, D., She, L., Su, W. X., He, D. C., Wu, G. Y., Ma, X. R., Jiang, S., Jiang, C. H., & Ying, G. G. (2020). Comparisons of pollution characteristics, emission situations, and mass loads for heavy metals in the manures of different livestock and poultry in China. *Science of the Total Environment*, 734, 139023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139023>
- Liu, X., Shi, H., Bai, Z., Zhou, W., Liu, K., Wang, M., & He, Y. (2020). Heavy metal concentrations of soils near the large opencast coal mine pits in China. *Chemosphere*, 244, 125360. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125360>
- McDowell, R. W., & Gray, C. W. (2022). Do soil cadmium concentrations decline after phosphate fertiliser application is stopped: A comparison of long-term pasture trials in New Zealand? *Science of the Total Environment*, 804, 150047. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150047>
- Mukti, M. S., Wardiyati, T., & Islami, T. (2017). Pengaruh waktu pemberian pupuk kandang dan dosis urea terhadap hasil pertumbuhan dan kadar nitrogen tanaman kailan ( *Brassica oleraceae* L. var. Nova ). *Jurnal Produksi Tanaman*, 5(2), 224–231.
- Nakagawa, K., Imura, T., & Berndtsson, R. (2022). Distribution of heavy metals and related health risks through soil ingestion in rural areas of western Japan. *Chemosphere*, 290, 133316. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133316>
- Nasab, H., Rajabi, S., Eghbalian, M., Malakootian, M., Hashemi, M., & Mahmoudi-Moghaddam, H. (2022). Association of As, Pb, Cr, and Zn urinary heavy metals levels with predictive indicators of cardiovascular disease and obesity in children and adolescents. *Chemosphere*, 294, 133664. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133664>
- Naseri, M., Rahmanikhah, Z., Beiygloo, V., & Ranjbar, S. (2014). Effects of Two Cooking Methods on the Concentrations of Some Heavy Metals (Cadmium, Lead, Chromium, Nickel and Cobalt) in Some Rice Brands Available in Iranian Market. *Journal of Chemical Health Risks* 4, 65–72.
- Opoku, P. A., Anornu, G. K., & Gibrilla, A. (2020). Spatial distributions and probabilistic risk assessment of exposure to heavy metals in groundwater in a peri-urban settlement: Case study of Atonsu-Kumasi, Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100327. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100327>
- Ouaty, O. E., Marin, E., & Rodella, I. (2022). Assessment of the heavy metal sources and concentrations in the Nador Lagoon sediment, Northeast-Morocco. *Ocean and Coastal Management*, 19, 105900. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105900>
- Pandey, B., Agrawal, M., & Singh, S. (2014). Assessment of air pollution around coal mining area: Emphasizing on spatial distributions, seasonal variations and heavy metals, using cluster and principal component analysis. *Atmospheric Pollution Research*, 5(1), 79–86. <https://doi.org/10.5094/APR.2014.010>
- Qian, X., Wang, Z., Shen, G., Chen, X., Tang, Z., Guo, C., Gu, H., & Fu, K. (2018). Heavy metals accumulation in soil after 4 years of continuous land application of swine manure: A field-scale monitoring and modeling estimation. *Chemosphere*, 210, 1029–1034. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.107>
- Qin, G., Niu, Z., Yu, J., Li, Z., & Ma, J. (2021). Soil heavy metal pollution and food safety in China: Effect Sources and Removing Technology. *Chemosphere*, 267, 129205. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129205>
- Rachmadian, R. H., Pitaloka, S. D., Nabailah, S., Dea, S., Yozha, T., Wulandhari, W., Eka, Y., Asykurian, Z., Wagistina, S., & Deffinika, I. (2021). Kajian Karakteristik Petani dan Potensi Pemanfaatan Lahan Pertanian Hortikultura Desa Sumber Brantas Kota Batu. *Jurnal Integrasi Dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial*, 1(16), 792–802. <https://doi.org/10.17977/um063v1i6202p792-802>
- RIVM. (2001). Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. RIVM report 711701 25.
- Rokonuzzaman, M., Li, W. C., Man, Y. B., Tsang, Y. F., & Ye, Z. (2022). Arsenic Accumulation in Rice: Sources, Human Health Impact and Probable Mitigation Approaches. *Rice Science*, 29(4), 309–327. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2022.02.002>
- SCF. (2001) Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Vitamin B1. Scientific Committee on Food. [http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/out93\\_en.Pdf](http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/out93_en.Pdf).
- Shen, W., Hu, Y., Zhang, J., Zhao, F., Bian, P., & Liu, Y. (2021). Spatial distribution and human health risk assessment of soil heavy metals based on sequential Gaussian simulation and positive matrix factorization model: A case study in irrigation area of the Yellow River. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225, 112752. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112752>
- 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>
- Subagiyo, A., Prayitno, G., & Kusriyanto, R. L. (2020). Alih fungsi lahan pertanian ke non pertanian di Kota Batu Indonesia. *Jurnal Kajian, Penelitian dan Pengembangan Pendidikan*, 8(2), 135–150.
- Sumiati, A., & Julianto, R. P. D. (2017). Analisis Residu Pestisida Pada Jeruk Manis Di Kecamatan Dau, Malang. *Buana Sains*, 17(1), 19. <https://doi.org/10.33366/bs.v17i1.574>
- 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>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2001). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) Volume III: Part A.
- Vries, W. de, Groenenberg, J. E., Lofts, S., Tipping, E., & Posch, M. (2013). Critical Loads of Heavy Metals for Soils. In *Heavy Metal in Soil* (pp. 211–237). [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_8)
- Wan, Y., Huang, Q., Wang, Q., Yu, Y., Su, D., Qiao, Y., & Li, H. (2020). Accumulation and bioavailability of heavy metals in an acid soil and their uptake by paddy rice under continuous application of chicken and swine manure. *Journal of Hazardous Materials*, 384, 121293. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121293>
- Wang, S., Cai, L. M., Wen, H. H., Luo, J., Wang, Q. S., & Liu, X. (2019). Spatial distribution and source apportionment of heavy metals in soil from a typical county-level city of Guangdong Province, China. *Science of the Total Environment*, 655, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.244>
- Wei, J., Deng, S., & Lu, J. (2022). A Single Soil Washing with Humic Substance Can Achieve the Risk-Based Remedial Target for Nickel Contaminated Soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03399-x>
- Yan, Y.-Z., Hu, Y.-H., Guo, H., & Lin, K.-Q. (2022). Burden of cardiovascular disease attributable to dietary lead exposure in adolescents and adults in China. *Science of The Total Environment*, 838, 156315. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156315>
- Yang, J., Sun, Y., Wang, Z., Gong, J., Gao, J., Tang, S., Ma, S., & Duan, Z. (2022). Heavy metal pollution in agricultural soils of a typical volcanic area: Risk assessment and source appointment. *Chemosphere*, 304, 135340. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135340>
- Zeng, W., Wan, X., Wang, L., Lei, M., Chen, T., & Gu, G. (2022). Apportionment and location of heavy metal (loid)s pollution sources for soil and dust using the combination of principal component analysis, Geodetector, and multiple linear regression of distance. *Journal of Hazardous Materials* 438, 129468. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129468>
- 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>
- Zhang, P., Zhang, X., Li, Y., & Han, L. (2020). Influence of pyrolysis temperature on chemical speciation, leaching ability, and environmental risk of heavy metals in biochar derived from cow manure. *Bioresource Technology*, 302, 122850. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122850>
- Zhao, K., Fu, W., Qiu, Q., Ye, Z., Li, Y., Tunney, H., Dou, C., Zhou, K., & Qian, X. (2019). Spatial patterns of potentially hazardous metals in paddy soils in a typical electrical waste dismantling area and their pollution characteristics. *Geoderma*, 337, 453–462. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.004>
- Zhou, Y., Jiang, D., Ding, D., Wu, Y., Wei, J., Kong, L., Long, T., Fan, T., & Deng, S. (2022). Ecological-health risks assessment and source apportionment of heavy metals in agricultural soils around a super-sized lead-zinc smelter with a long production history, in China. *Environmental Pollution*, 307, 119487. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119487>