

# Penilaian Spasial Potensi Risiko Ekologis Logam Berat di Lapisan Olah Tanah Sawah DAS Serayu Hilir, Jawa Tengah

## *Spatial Assessment of Ecological Risks Potential of Heavy Metals in Paddy Field Topsoils of Serayu Hilir Watershed, Central Java*

Sukarjo\*, Ina Zulaehah, Elisabeth Srihayu Harsanti, Asep Nugraha Ardiwinata

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jalan Raya Jakenan Jaken km 05, Jakenan, Pati 59182, Jawa Tengah, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

#### Riwayat artikel:

Diterima: 18 Januari 2021  
Disetujui: 8 Maret 2021  
Dipublikasi online: 18 Maret 2021

#### Kata Kunci:

Akumulasi  
Faktor kontaminasi  
Beban polusi  
Risiko ekologis

#### Keywords:

Accumulation  
Contamination factor  
Pollution load  
Ecological risk

#### Direview oleh:

Rizatus Shofiyati, Anicetus  
Wihardjaka

**Abstrak.** Logam berat di DAS perlu diteliti untuk mengetahui tingkat cemarannya pada tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai tingkat kontaminasi logam berat di tanah sawah DAS Serayu Hilir. Penelitian dengan metode survey dilakukan dengan mengambil sampel tanah sawah pada kedalaman 0-20 cm. Distribusi lokasi sampel tanah dan risiko ekologis karena logam berat di lapisan atas tanah sawah DAS Serayu Hilir ditentukan secara grid. Sampel tanah dianalisis kandungan Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, Mn, Zn, As, dan Fe total dengan pelarut asam dan pengabuan basah. Analisis multivariat dan geostatistik dilakukan dengan menghitung indeks bahaya seperti geo-akumulasi, kontaminasi, beban polusi, dan risiko ekologis. Konsentrasi logam berat di lokasi penelitian adalah  $As < Cd < Zn < Cu < Cr < Co < Pb < Ni < Mn < Fe$ . Kontaminasi logam berat Pb, Cu, Ni, Cr, Fe, Co, Mn, As, dan Zn pada lapisan olah tanah sawah berasal dari kegiatan antropogenik, sedangkan kontaminasi As dan Cd disebabkan oleh sedimentasi geologis dan atmosfer. Tanah terkontaminasi tinggi (CF = 3-6) oleh Cd, dan terkontaminasi rendah (CF < 1) oleh kontaminan Fe, Mn, Ni, Pb, Co, Cr, Cu, Zn, dan As. Potensi risiko ekologis termasuk kategori sedang pada logam kadmium, sedangkan logam lainnya tergolong rendah. Kontaminasi logam berat Cd dapat menimbulkan risiko ekologis dan keracunan manusia.

**Abstract.** Heavy metal concentration in the watershed needs to be examined to determine the level of heavy metal contamination in soil. The study aimed to assess the level of heavy metal contamination in rice field at the Serayu Hilir watershed. Soil survey was conducted to collect soil samples from topsoil layer (0-20 cm). Distribution of soil sample location and ecological risk due to heavy metals at the top soils of the Serayu Hilir watershed were determined with grid bases. Soil samples were analyzed for total Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, Mn, Zn, As, and Fe with acid solvents and wet ashing methods. Multivariate and geostatistical analyses were conducted by calculating various hazardous indices such as geo-accumulation, contamination, pollution load, and ecological risk. Concentration of metals at the research site were in the order:  $As < Cd < Zn < Cu < Cr < Co < Pb < Ni < Mn < Fe$ . Contaminations of Pb, Cu, Ni, Cr, Fe, Co, Mn, As, and Zn were mainly derived from anthropogenic origins whereas, As, and Cd contaminations were mainly caused by geological and atmospheric precipitations. The soil was highly contaminated (CF = 3-6) by Cd, and lowly contaminated (CF < 1) by Fe, Mn, Ni, Pb, Co, Cr, Cu, Zn, and As. The potential ecological risk is moderate for cadmium, while for other heavy metals are classified as low. Cd heavy metal contamination can raise ecological risks and human poisoning.

## Pendahuluan

Aktivitas antropogenik berupa pencemaran dari kegiatan pertanian seperti penggunaan pupuk dan pestisida pada bagian hulu daerah aliran sungai (DAS) dapat mempengaruhi bagian hilir DAS. Bagian hilir DAS merupakan tempat berakhirnya segala sesuatu, termasuk kontaminan. Demikian juga dengan DAS Serayu Hilir, yang sebagian terletak di Kabupaten Cilacap merupakan tempat akumulasi bahan hasil erosi dan sedimen di lahan sawah, yang dimungkinkan mengandung logam-logam berat. Lapisan tanah atas cenderung terakumulasi logam-

logam dengan konsentrasi lebih tinggi yang berasal dari aktivitas manusia daripada lapisan tanah lainnya karena proses sedimentasi dan jerapan logam oleh bahan organik di lapisan tanah atas (Darko *et al.* 2017). Paparan logam berat dalam tanah dapat membahayakan manusia melalui penghirupan debu, kontak kulit atau konsumsi yang tidak disengaja.

Produktivitas padi di Indonesia tahun 2020 sebesar 5,13 ton meningkat dari tahun sebelumnya yang hanya 5,11 ton. Hal ini merupakan berita baik dimana luas lahan tahun 2020 yang digunakan menurun 0,19% dari tahun 2019, tetapi produktivitasnya meningkat sebesar 1,74%

\* Corresponding author: [sukarjo@gmail.com](mailto:sukarjo@gmail.com)

(BPS 2021). Selanjutnya perlu dilakukan penjaminan kualitas dan keamanan pangan dengan mencegah pangan dari kemungkinan cemaran kimia logam berat atau cemaran lainnya agar pangan yang dikonsumsi tidak membahayakan kesehatan manusia sesuai PP No 86 tahun 2019 tentang keamanan pangan. Pencemaran logam berat dari aktivitas pertanian melalui penggunaan pupuk dan pestisida perlu dikurangi. Bioakumulasi logam berat merupakan peningkatan bahan kimia dalam tubuh makhluk hidup dalam kurun waktu yang lama. Proses akumulasi residu logam berat dalam tubuh makhluk hidup akan membahayakan dan memperburuk kesehatan manusia (Agustina 2014).

Sistem budidaya pertanian dengan menggunakan pupuk dan pestisida akan memberikan kontribusi terhadap pencemaran logam berat pada tanah, air, maupun tanaman. Diketahui bahwa penggunaan pestisida dapat menyisakan residu pada tanah, air, maupun tanaman. Selain itu, sumber pencemaran logam berat juga berasal dari limbah industri dan kegiatan pertambangan. Bahan-bahan pencemar tersebut masuk ke aliran air dan mencemari lahan pertanian (Erfandi dan Juarsah 2014).

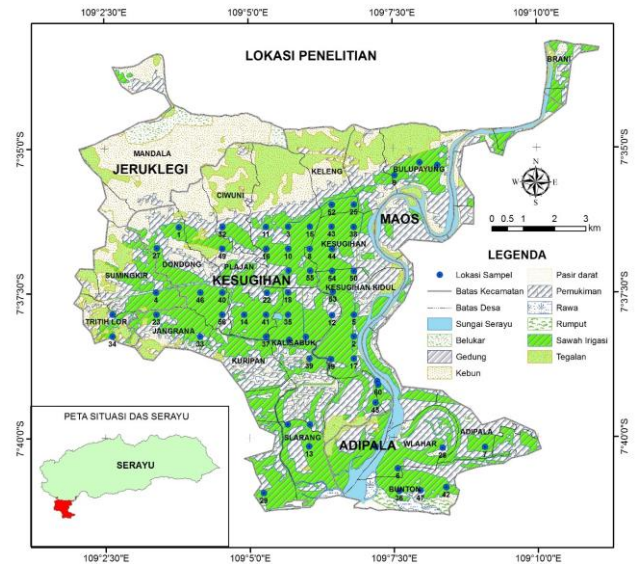
Monitoring dan evaluasi kelimpahan kontaminan logam berat di tanah sawah perlu selalu dilakukan, antara lain melalui penilaian total konsentrasi logam berat dalam tanah pertanian untuk mengetahui potensi risiko tanah sawah yang tercemar logam berat (Hang *et al.* 2009). Potensi risiko ekologis merupakan kemungkinan terjadinya risiko terhadap kesehatan manusia yang disebabkan oleh faktor lingkungan. Manfaat dari penilaian potensi risiko ekologis logam berat yaitu informasi nilai risiko dari kontaminasi logam berat yang ada di lingkungan sehingga dapat dilakukan kegiatan untuk meminimalisir atau mengatasi pencemaran logam berat. Penelitian ini bertujuan untuk menilai tingkat kontaminasi logam berat di tanah sawah pada DAS Serayu Hilir berdasarkan parameter indeks polusi, faktor pengkayaan, faktor kontaminasi, beban polusi, dan potensi risiko ekologis.

## Bahan dan Metode

### Wilayah Studi

Penelitian dilaksanakan di lahan sawah DAS Serayu Hilir di Kabupaten Cilacap pada bulan Maret-Juni tahun 2017. Lokasi penelitian berada pada bentang koordinat 109°2'-109°10' BT, 7°35'-7°43' LS. Penelitian survey dilakukan dengan mengambil sampel tanah sawah sebanyak 60 titik sampel. Penentuan koordinat sampel tanah ditentukan secara sengaja pada satuan (unit) lahan

sawah. Lokasi penelitian dan koordinat sampel disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Titik-titik pengambilan sampel tanah sawah di Das Serayu Hilir Jawa Tengah

Figure 1. Soil sampling points at lowland rice fields in Das Serayu Hilir, Central Java

### Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan sistem grid. Satu titik sampling terdiri dari 5-10 contoh individual (subcontoh), dengan jarak pengambilan tiap subcontoh 25-50 m di lapang. Alat yang digunakan untuk pengambilan subcontoh tanah adalah bor tanah, yang diambil pada lapisan olah dengan kedalaman 0-20 cm. Contoh-contoh individual tersebut dikompositkan dengan dimasukkan ke dalam ember, dicampur sampai homogen, diambil seberat 0,5-1 kg, dimasukkan ke dalam kantong plastik ukuran 15×25 cm, diikat dengan benang wol, dan diberi label.

### Preparasi dan Analisis Sampel

Sampel tanah setelah dikeringanginkan, digiling, dan diayak dengan menggunakan saringan 0,5 mm. Sampel tanah dianalisis kandungan Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu, Mn, Zn, As, dan Fe total dengan metode pengabuan basah yang menggunakan campuran asam pekat HNO<sub>3</sub> (65% pa) dan HClO<sub>4</sub> (60% pa) (Eviati dan Suleman 2012). Hasil ekstraksi diukur dengan AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*).

### Analisis Data

Data dianalisis secara statistik deskriptif yang meliputi nilai minimum, maksimum, rata-rata, uji skewness dan uji kurtosis, dengan menggunakan perangkat lunak SPSS

25.0. Selain itu juga dilakukan analisis korelasi untuk mengetahui hubungan (korelasi) antar logam berat.

### Perkiraan Tingkat Kontaminasi

Tingkat kontaminasi logam berat dapat ditentukan dengan membandingkan data primer dengan data referensi, penggunaan faktor pengayaan (*Enrichment Factor*, EF), kontaminasi faktor (*Contamination Factor*, CF), indeks beban polusi (*Pollution Load Index*, PLI), dan indeks risiko ekologis potensial (*Potential Ecological Risk Index*, PERI) (Darko *et al.* 2017).

### Faktor Pengkayaan (EF)

Faktor pengkayaan (EF) digunakan untuk menilai tingkat cemaran logam berat dari sumber antropogenik untuk membedakan antara sumber antropogenik dan sumber alami (Swarnalatha *et al.* 2015). Untuk normalisasi faktor pengkayaan digunakan Fe sebagai referensi (Abraham dan Parker 2008).

$$EF = \frac{M_i Fe_r}{M_r Fe_i} \quad (1)$$

Dimana  $M_i$  dan  $Fe_i$  adalah logam berat dan logam besi yang diambil dari sampel lapisan olah tanah sawah sedangkan  $M_r$  dan  $Fe_r$  adalah logam berat dan logam besi referensi menurut Wedepohl (1995). Jika  $EF > 1$  berarti konsentrasi logam dalam sampel tanah diperkaya relatif besar terhadap rata-rata kerak bumi dan nilai-nilai tanah permukaan dan sumber logam di lapisan atas tanah cenderung bersifat antropogenik. Klasifikasi nilai EF berdasarkan Abdullah *et al.* (2020) dibagi menjadi: defisiensi ( $EF < 2$ ); sedang ( $2 \leq EF < 5$ ); tinggi ( $5 \leq EF < 20$ ); sangat tinggi ( $20 \leq EF < 40$ ); dan sangat tinggi sekali ( $EF \geq 40$ ).

### Faktor Kontaminasi (CF)

Faktor kontaminasi (CF) merupakan rasio konsentrasi logam dalam sampel tanah dengan referensi (Hakanson 1980).

$$CF = \frac{M_i}{M_r} \quad (2)$$

Dimana  $M_i$  adalah logam berat yang diambil dari sampel lapisan olah tanah sawah sedangkan  $M_r$  adalah logam berat referensi. CF merupakan rasio konsentrasi tiap logam dalam tanah dengan nilai dasarnya. Nilai dasar mengacu pada konsentrasi logam dalam permukaan kerak bumi (Wedepohl 1995). Klasifikasi nilai CF (Hakanson 1980) dibagi menjadi: rendah ( $CF < 1$ ); sedang ( $1 \leq CF < 3$ ); tinggi ( $3 \leq CF < 6$ ); dan sangat tinggi ( $CF \geq 6$ ).

### Indeks Beban Polusi (PLI)

Indeks beban polusi (PLI) digunakan untuk memperkirakan tingkat polusi keseluruhan sampel Indeks beban polusi (PLI) dari kontaminasi logam berat dihitung menggunakan Persamaan dari Qing *et al.* (2015), sebagai berikut.

$$PLI = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n)^{1/n} \quad (3)$$

Dimana  $n$  merupakan jumlah logam berat dan CF adalah Faktor kontaminasi. Jika nilai  $PLI > 1$  berarti tanah tercemar, sedangkan nilai  $PLI < 1$  menunjukkan tanah tidak tercemar (Seshan *et al.* 2010).

### Indeks Potensi Risiko Ekologis (PERI)

Indeks Potensi risiko ekologis (PERI) digunakan untuk menilai tingkat pencemaran logam berat dalam tanah berdasarkan faktor kontaminasi logam berat (CF) dan respons lingkungan terhadap kontaminan (*Toxic Response Factor*). PERI dihitung sebagai jumlah dari indeks risiko individu (RI) (Hakanson 1980) sebagai berikut:

$$PERI = \sum_i^n (CF_i \cdot Trf_i) \quad (4)$$

$Trf$  (*toxic response factor*) untuk logam dengan urutan yaitu  $Zn = Mn = Fe = 1$ ,  $Cr = 2$ ,  $Co = Cu = Pb = 5$ ,  $Ni = 6$ ,  $As = 10$ , dan  $Cd = 30$ . Indeks Potensi risiko ekologis (PERI) dapat diklasifikasikan:  $PERI < 40$  (risiko sangat rendah),  $40 \leq PERI < 80$  (risiko rendah),  $80 \leq PERI < 160$  (risiko sedang),  $160 \leq PERI < 320$  (risiko tinggi), dan  $PERI \geq 320$  (risiko sangat tinggi) (Wu *et al.* 2015).

Analisis spasial indeks potensi risiko ekologis menggunakan software ArcGIS 10.2. Penarikan garis batas antar tingkat risiko ekologis menggunakan metode interpolasi IDW (Inverse distance weighted Interpolation) (Madhloom *et al.* 2018; Yang *et al.* 2020). Langkah interpolasi menggunakan IDW yaitu pada menu spatial analyst tool dipilih interpolasi kemudian pilih metodenya menggunakan IDW. Data nilai PERI yang berupa point diubah menjadi data raster menggunakan interpolasi IDW. Hasil interpolasi selanjutnya direklasifikasi sesuai dengan batasan nilai PERI. Batas nilai PERI ini akan menjadi batas deliniasi untuk masing-masing kelas indeks potensi risiko ekologis. Batas deliniasi yang telah didapatkan kemudian dikompilasi menggunakan data bentang alam peta RBI untuk dikalibrasi.

### Hasil dan Pembahasan

Pada Tabel 1 terlihat bahwa kandungan logam berat dalam tanah sawah di DAS Serayu Hilir secara berurutan

Tabel 1. Analisis statistik deskriptif konsentrasi logam berat pada DAS Serayu Hilir

Table 1. Descriptive statistics analysis of heavy metal concentrations at Serayu Hilir watershed

Logam berat	Rata-rata	Median	SD	Min	Max	CV	Skewness	Kurtosis	Batas kritis
	.....mg kg <sup>-1</sup> .....								
Pb	10,36	9,67	3,30	0,70	19,43	10,90	0,28	1,05	400
Cd	1,21	1,25	0,38	0,21	1,92	0,15	-0,44	-0,18	8
Co	9,72	10,42	2,90	2,76	15,66	8,38	-0,59	0,10	50
Ni	11,07	12,25	4,06	3,11	18,58	16,47	-0,14	-0,82	100
Cr	9,47	9,29	4,09	1,57	17,78	16,75	0,06	-0,72	100
As	1,20	1,06	0,73	0,00	4,21	0,53	1,82	4,83	3
Fe	286,34	283,13	72,89	135,30	668,93	5312,45	2,44	12,18	50.000
Mn	127,09	103,46	78,62	33,60	412,20	6181,70	1,69	2,72	3.000
Cu	4,19	3,52	2,52	0,83	11,01	6,33	1,04	0,54	125
Zn	2,73	2,57	1,02	0,67	5,98	1,04	1,12	1,84	400

Keterangan: n=60

adalah Fe > Mn > Ni > Pb > Co > Cr > Cu > Zn > Cd > As. Kandungan logam berat di tanah sawah di DAS Serayu Hilir Kabupaten Cilacap masih berada di bawah batas kritis. 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). Menurut Alloway (2012), batas kritis logam berat dalam tanah masing-masing adalah As 3 mg kg<sup>-1</sup>, Cd 8 mg kg<sup>-1</sup>, Pb 400 mg kg<sup>-1</sup>, Co 50 mg kg<sup>-1</sup>, Cr 100 mg kg<sup>-1</sup>, Ni 100 mg kg<sup>-1</sup>, Cu 125 mg kg<sup>-1</sup>, Mn 3.000 mg kg<sup>-1</sup>, Zn 400 mg kg<sup>-1</sup>, sedangkan untuk Fe sebesar 50.000 mg kg<sup>-1</sup> berdasarkan Chiroma *et al.* (2012).

Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat pada lokasi penelitian berada dibawah batas kritis sehingga masih layak dan aman untuk digunakan dalam kegiatan budidaya padi. Tanah yang terkontaminasi akan berpotensi menyebabkan akumulasi kontaminan dalam tanaman sehingga mempengaruhi keamanan dan kualitas pangan yang dikonsumsi manusia (Wong *et al.* 2002). Tanaman yang terkontaminasi logam berat akan menunjukkan gejala keracunan seperti pengeringan daun tua, klorosis, nekrosis dari daun muda, kerdil, kelayuan, dan produksi menurun (Shah *et al.* 2010). Nilai Skewness pada logam berat Cd, Co, dan Ni menunjukkan negatif, sedangkan nilai kurtosis negatif dijumpai pada logam berat Cd, Ni, dan Cr. Hal ini berarti nilai distribusi data cenderung bersifat hampir normal dan tidak homogen.

Penilaian kontaminasi tanah dapat dilakukan dengan menggunakan faktor kontaminasi, indeks beban pencemaran dan indeks risiko (Hakanson 1980). Tabel 2

menunjukkan ringkasan dari berbagai alat penilaian polusi tanah yang digunakan. Indeks beban pencemaran rata-rata yang dicatat untuk daerah penelitian adalah 0,28 dan tingkat modifikasi rata-rata adalah 0,1. Nilai indeks CF kandungan logam berat di DAS Serayu Hilir umumnya terkontaminasi rendah (CF<1), kecuali untuk logam berat Cd yang mengkontaminasi tanah sawah kategori tinggi (3≤CF<6). Tingginya nilai CF untuk Cd dimungkinkan berasal dari residu penggunaan pupuk anorganik dimana pupuk anorganik biasanya mengandung logam timbal dan cadmium. Logam berat Pb dan Cd tidak memiliki aktivitas/fungsi fisiologis (Erfandi dan Juarsah, 2014). Berdasar indeks polusi unsur tunggal, lapisan olah tanah sawah di DAS Serayu Hilir terkontaminasi rendah hingga sedang oleh logam berat dengan urutan: Fe < Zn < Mn < Cr < Cu < Ni < As < Pb < Co < Cd.

Faktor pengkayaan (EF) logam berat di lahan sawah DAS Serayu Hilir meliputi kategori sangat tinggi sekali untuk logam Pb, Cd, Co, Ni, AS; kategori sangat tinggi untuk Cr, Mn, Cu; kategori tinggi untuk Zn; dan kategori defisiensi untuk Fe. Faktor pengkayaan untuk cadmium mencapai nilai lebih dari 400 (Gambar 2).

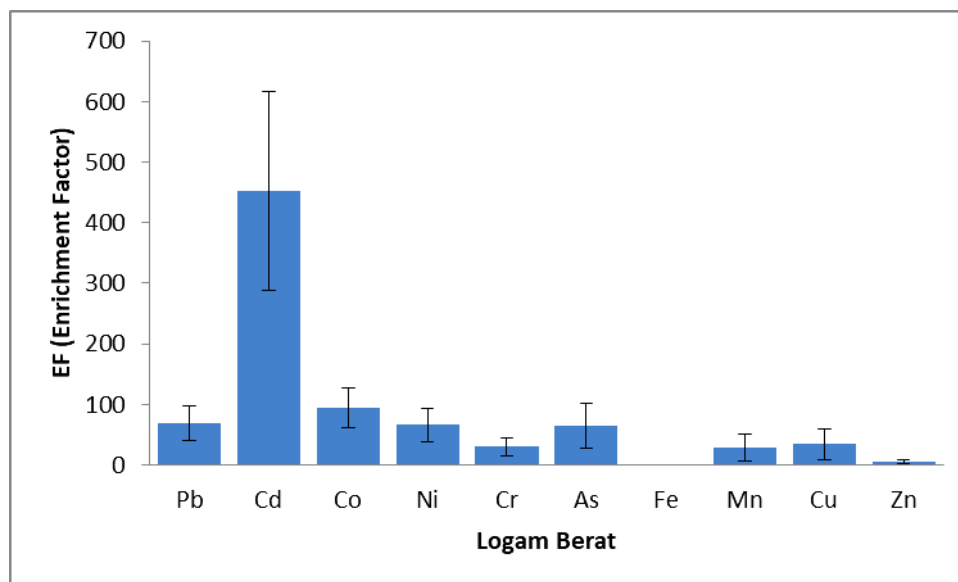
Kandungan logam berat Pb, Co, Cr, Ni, Cu, As, Mn dan Fe masih lebih rendah daripada nilai dasar logam berat dalam tanah berdasar Wedepohl (1995), sedangkan sebagian besar sampel yang mengandung Cd adalah lebih tinggi daripada nilai dasarnya. Dengan mengacu pada persamaan Hokanson (1980), maka diperoleh nilai kontaminasi faktor (CF) dan *Pollution Load Index* masing-masing lokasi sampel yang disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Faktor pengayaan, faktor kontaminasi, beban polusi, dan indeks ekologi logam berat di DAS Serayu Hilir

Table 2. *Enrichment Factor, Contamination Factor, Pollution Load Index, and Ecological Index of heavy metals at Serayu Hilir Watershed*

Logam berat	EF	CF	PERI
Pb	69,8 ± 28,6	0,61 ± 0,2	3,05 ± 1,0
Cd	451,7 ± 164,0	4,04 ± 1,3	121,29 ± 38,5
Co	94,1 ± 33,3	0,84 ± 0,2	4,19 ± 1,2
Ni	66,7 ± 27,7	0,60 ± 0,2	3,57 ± 1,3
Cr	30,4 ± 14,7	0,27 ± 0,1	0,54 ± 0,2
As	65,4 ± 37,1	0,60 ± 0,4	5,99 ± 3,6
Fe	1,0 ± 0,0	0,01 ± 0,0	0,01 ± 0,0
Mn	28,5 ± 22,2	0,24 ± 0,1	0,24 ± 0,1
Cu	35,0 ± 25,3	0,29 ± 0,2	1,47 ± 0,9
Zn	5,9 ± 2,6	0,05 ± 0,0	0,05 ± 0,0
PLI		0,28	0,1

Keterangan: EF = *Enrichment Factor*, CF = *Contamination Factor*, PERI = *Potential Ecological Risk Index*, PLI = *Pollution Load Index*



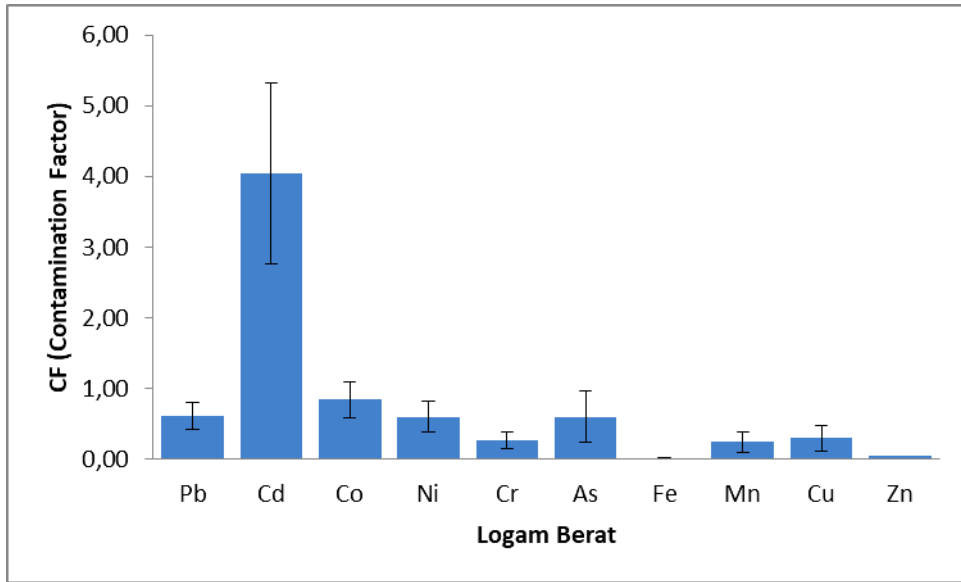
Gambar 2. Faktor pengkayaan logam berat di lahan DAS Serayu Hilir

Figure 2. *Heavy metal enrichment factor at the Serayu Hilir watershed*

Penilaian pencemaran logam berat lebih akurat dilakukan dengan mempertimbangkan risiko ekologis, yang ditentukan dengan indeks risiko ekologis potensial (PERI). Indeks risiko ekologis potensial mewakili keseluruhan kontaminasi logam berat (Hakanson 1980). Logam berat yang terdeteksi dalam tanah sawah mengindikasikan peningkatan risiko yang signifikan di berbagai titik pengambilan sampel mulai dari risiko tinggi ke risiko rendah dengan urutan: Fe < Zn < Mn < Cr < Cu < Pb < Ni < Co < As < Cd. Nilai PERI berkisar antara 0,01 hingga 121,29 dalam sampel dengan rata-rata 140,4 ± 42,1

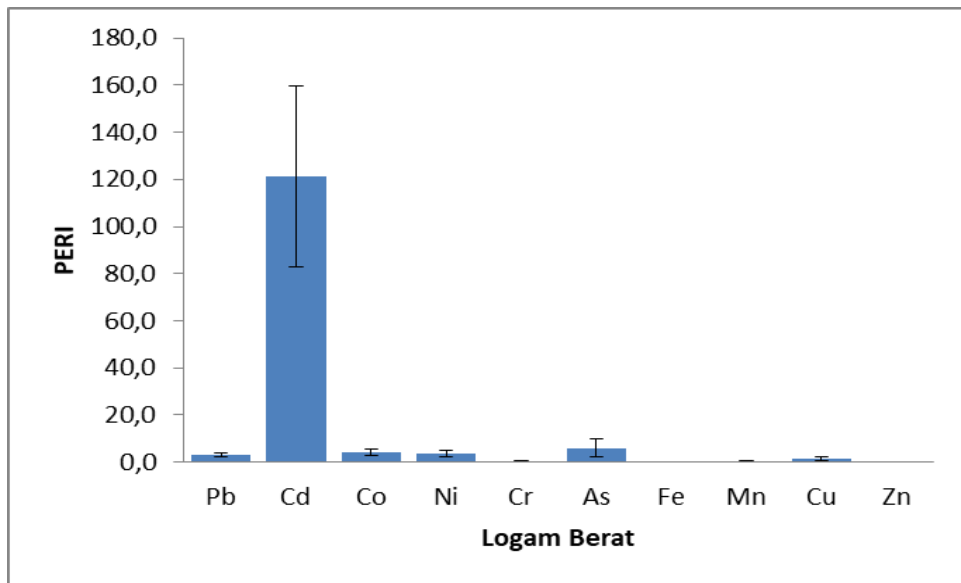
yang menunjukkan risiko ekologis yang sedang. Sebesar 1,7% dari titik sampel termasuk mempunyai risiko ekologis sangat rendah, sedangkan sebesar 8,7% rendah, 55,0% sedang, dan 35,0% sisanya termasuk berisiko ekologis tinggi sehubungan dengan logam (Gambar 4). Nilai PERI yang tinggi mengindikasikan risiko terhadap lingkungan tinggi.

Gambar 4 menunjukkan risiko ekologi di lahan sawah DAS Serayu Hilir yang disebabkan oleh akumulasi logam kadmium, dengan nilai PERI > 120 (kategori risiko sedang). Risiko ekologi untuk logam-logam lainnya (Pb,



Gambar 3. Faktor kontaminasi logam berat di DAS Serayu Hilir

Figure 3. Heavy metal contamination factor at Serayu Hilir watershed



Gambar 4. Indeks risiko ekologis potensial di DAS Serayu Hilir

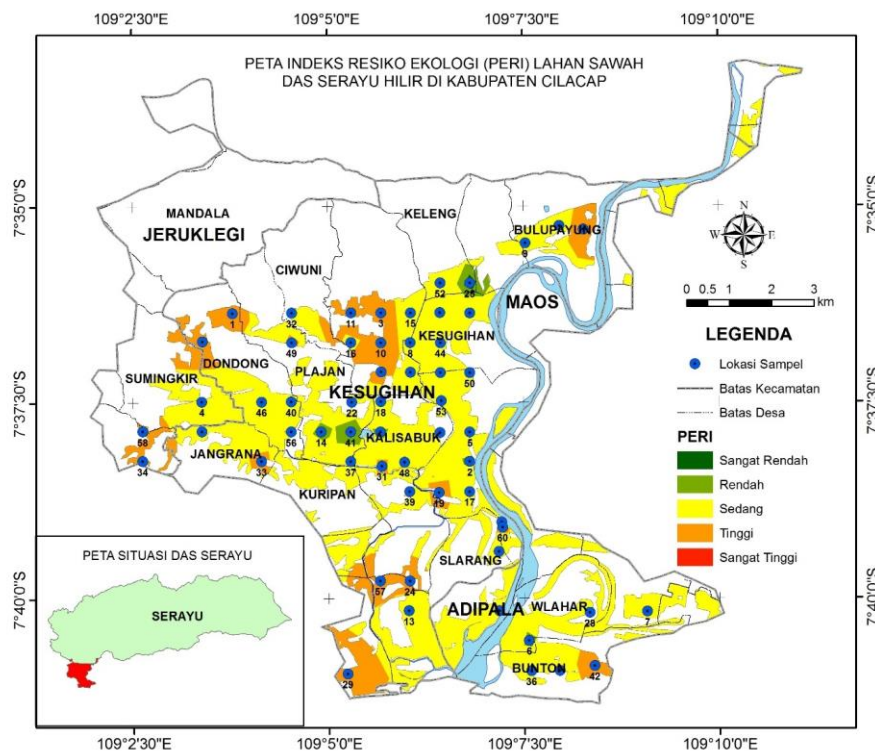
Figure 4. Potential ecological risk index at Serayu Hilir watershed

Co, Cr, Ni, Cu, As, Mn, Zn, dan Fe) tergolong rendah dengan nilai PERI kurang dari 40.

Secara spasial potensi risiko ekologi di DAS Serayu Hilir umumnya termasuk kategori berisiko besar (Gambar 5). Potensi risiko ekologi tinggi menyebar berbentuk area-area kecil di Desa Karangjengkol, Karangobar, Tritih Lor, dan Dondong. Dominasi risiko ekologi sedang ini tidak terlepas dari posisi geografis DAS Serayu Hilir yang berada di muara dari DAS. Perlu dilakukan pengendalian pencemaran lingkungan pertanian dilahan pertanian yang

terkontaminasi. Potensi risiko ekologi logam berat yang besar di DAS Serayu Hilir dapat diminimalisir dengan teknologi remediasi kontaminasi logam berat pada tanah, teknik imobilisasi, pencucian tanah, atau fitoremediasi setelah diketahui sumber pencemarnya (Erfandi dan Juarsah, 2014).

Logam berat dalam tanah umumnya saling berhubungan dengan mekanisme kompleks. Analisis korelasi merupakan cara efektif untuk mengungkapkan hubungan antara beberapa variabel dan dengan demikian



Gambar 5. Peta potensi resiko ekologi indeks di lahan sawah DAS Serayu Hilir, Jawa Tengah

Figure 5. Potential ecological risk index map of rice field at Serayu Hilir watershed, Central Java

Tabel 3. Korelasi antar logam berat dalam tanah pada lahan sawah di DAS Serayu Hilir

Table 3. Correlation between heavy metals in soil at rice field Serayu Hilir watershed

Logam	Pb	Cd	Co	Ni	Cr	As	Fe	Mn	Cu
Pb	1								
Cd	0,39*	1							
Co	0,41*	0,59*	1						
Ni	0,50*	0,55*	0,65*	1					
Cr	0,32*	0,37*	0,46*	0,76*	1				
As	-0,02	0,34*	0,41*	0,29*	0,21	1			
Fe	-0,11	0,31*	0,18*	0,13	0,12	0,33*	1		
Mn	-0,01	-0,08	0,07	-0,12	-0,11	0,14	-0,22	1	
Cu	0,31*	0,23	0,25	0,30*	0,11	-0,04	-0,38*	0,36*	1
Zn	-0,01	-0,23	-0,20	-0,02	-0,01	0,10	0,03	0,12	-0,14

Keterangan: \* nilai yang memiliki korelasi signifikan

telah membantu untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi (pH, pelapukan batuan, pengarsipan logam, dan lain-lain). Korelasi yang tinggi antara logam-logam berat dalam tanah dapat mencerminkan bahwa konsentrasi yang terakumulasi dari logam-logam berat ini berasal dari sumber polusi yang serupa. Korelasi positif yang tinggi dan signifikan ( $p < 0,01$ ) diamati di antara beberapa logam. Korelasi tertinggi ditemukan antara Ni dan Cr ( $r = 0,76$ );

Ni dan Co ( $r = 0,65$ ); Co dan Cd ( $r = 0,59$ ); Ni dan Cd ( $r = 0,55$ ); Ni dan Pb ( $r = 0,50$ ) (Tabel 3). Korelasi positif yang kuat antara Co, Ni, Cr, As, Fe, dan Cd menunjukkan bahwa mereka mungkin dilepaskan dari asal yang sama. Berdasarkan hasil penelitian Omran (2016), terdapat korelasi perbedaan yang signifikan antara logam berat Cu dengan Zn dan Pb. Hal ini mengindikasikan bahwa logam berat ini memiliki sumber kontaminasi yang sama.

## Kesimpulan

Lahan sawah di DAS Serayu Hilir terutama lapisan olah tanah mengandung beberapa logam berat (timbal, arsenik, kobalt, kadmium) dengan konsentrasi signifikan, dimana beberapa unsur berada pada konsentrasi diatas ambang batas. Logam berat terdeteksi dan terdistribusi secara merata di bagian hilir DAS Serayu. Konsentrasi logam yang relatif lebih tinggi terdeteksi di Desa Karangjengkol, Karangkobar, Tritih Lor, dan Dondong. Faktor pengkayaan (EF) logam berat termasuk kategori sangat tinggi sekali untuk logam Pb, Cd, Co, Ni, AS, sangat tinggi untuk Cr, Mn, Cu, kategori tinggi untuk Zn, dan kategori defisiensi untuk Fe. Nilai faktor kontaminasi logam berat umumnya rendah, kecuali logam berat Cd yang tergolong tinggi. Indeks beban pencemaran adalah 0,28 dengan tingkat modifikasi rata-rata adalah 0,1. Potensi risiko ekologis tergolong sedang terdapat pada logam kadmium, sedangkan logam lainnya (Pb, Co, Cr, Ni, Cu, As, Mn, Zn, dan Fe) tergolong rendah. Indeks risiko yang tinggi dapat menunjukkan implikasi yang besar terhadap kesehatan manusia dan ekosistem disekitarnya.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis berterimakasih kepada Kepala Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Baligntan), Badan Litbang Kementerian Pertanian. Dalam naskah ini, Sukarjo dan Ina Zulaehah adalah Kontributor Utama, Elisabeth Srihayu Harsanti dan Asep Nugraha Ardiwinata sebagai Kontributor Anggota.

## Daftar Pustaka

- Abdullah MIC, Sah ASRM, Haris H. 2020. Geoaccumulation index and enrichment factor of arsenic in surface sediment of Bukit Merah Reservoir, Malaysia. *Tropical Life Sciences Research*. 31(3):109-25.
- Abraham GMS, Parker RJ. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*. 136:227-238. doi:10.1007/s10661-007-9678-2
- Agustina T. 2014. Kontaminasi logam berat pada makanan dan dampaknya pada kesehatan. *Jurnal Teknoba*. 1(1).
- Alloway BJ (Ed.). 2012. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Springer Science & Business Media. Vol. 22.
- Badan Pusat Statistik. 2021. Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Padi Menurut Provinsi 2018-2020. <https://www.bps.go.id/>. Diakses tanggal 4 Maret 2021.
- Chiroma TM, Ebebele RO, Hymore FK. Comparative assesment of heavy metal levels in soil, vegetables and urban grey waste water used for irrigation in Yola and Kano. *International Refereed Journal of Engineering and Science*. 3(2):1-9.
- Darko G, Dodd M, Nkansah MA, Aduse-Poku Y, Anshah E, Wemegah DD, Borquaye LS. 2017. Distribution and ecological risks of toxic metals in the topsoils in the Kumasi metropolis, Ghana. *Cogent Environmental Science*. 3(1):1354965.
- Erfandi D, Juarsah I. 2014. Teknologi Pengendalian Pencemaran Logam Berat pada Lahan Pertanian. Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Eviati dan Sulaeman. 2012. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Edisi 2. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. 14: 975-1001.
- Hang XH, Wang J, Zhou C, Ma C, Du, Chen X. 2009. Risk assessment of potentially toxic element pollution in soils and rice (*Oryza sativa*) in a typical area of the Yangtze River Delta. *Environmental Pollution*. 157(8-9):2542-2549.
- Madhloom HM, Al-Ansari N, Laue J, Chabuk A. 2018. Modeling spatial distribution of some contamination within the lower reaches of Diyala River using IDW interpolation. *Sustainability*. 10(1):22.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 86 Tahun 2019. 2019. Tentang Keamanan Pangan.
- Omran EE. 2016. Environmental modelling of heavy metals using pollution indices and multivariate techniques in the soils of Bahr El Baqar, Egypt. *Model. Earth Syst. Environ*. 2:119
- Qing X, Yutong Z, Shenggao L. 2015. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 120:377-385. doi:10.1016/j.ecoenv.2015.06.019.
- Seshan BRR, Natesan U, Deepthi K. 2010. Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India. *Int. J. Environ. Sci. Tech*. 7(2):291-306.
- Shah FUR, Ahmad N, Masood KR, Peralta-Videa JR, Ahmad FD. 2010. Heavy metal toxicity in plants. In: Ashraf M, Ozturk M, Ahmad M. (eds) *Plant Adaptation and Phytoremediation*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9370-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9370-7_4).



- Swarnalatha K, Letha J, Ayoob S, Nair AG. 2015. Risk assessment of heavy metal contamination in sediments of a tropical lake. *Environmental Monitoring and Assessment*. 187:322. doi:10.1007/s10661-015-4558-7.
- Vries W, Groenenberg JE, Loftis S, Tipping E, Posch M. 2012. Critical Loads of Heavy Metals for Soils. Alloway BJ (Ed.). 2012. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability Springer Science & Business Media. Vol. 22.
- Wedepohl HK. 1995. Ingerson lecture the composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 59:1217-32.
- Wong SC, Li XD, Zhang G, Qi SH, Min YS. 2002. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. *Environmental Pollution*. 119(1):33-44.
- Wu Q, Leung JY, Geng X, Chen S, Huang X, Li H, Huang Z, Zhu L, Chen J, Lu Y. 2015. Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: implications for dissemination of heavy metals. *Science of the Total Environment*. 506:217-225.
- Yang W, Zhao Y, Wang D, Wu H, Lin A, He L. 2020. Using principal components analysis and IDW interpolation to determine spatial and temporal changes of surface water quality of Xin'anjiang river in Huangshan, China. *International journal of environmental research and public health*. 17(8):2942.