

## **Analysis of the Pollution Index of Cadmium and Lead in Paddy Fields in Tempuran Subdistrict, Karawang Regency**

**Alfan Adhi Nugroho<sup>1</sup>, Gina Lova Sari<sup>1\*</sup>, Wilma Nurrul Adzillah<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Environmental Engineering, Faculty of Engineering, University of Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia;

### **Article History**

Received : January 21<sup>th</sup>, 2026

Revised : April 02<sup>th</sup>, 2026

Accepted : May 07<sup>th</sup>, 2026

\*Corresponding Author: **Gina**

**Lova Sari**, Environmental Engineering, Faculty of Engineering, University of Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia;

Email:

[ginalovasari@gmail.com](mailto:ginalovasari@gmail.com)

**Abstract:** Heavy metal contamination in agricultural soils has become an increasing environmental concern due to its potential impact on food safety and ecosystem sustainability. This study aims to analyze the concentration and contamination levels of heavy metals Cadmium (Cd) and Lead (Pb) in paddy fields located in Tempuran District, Karawang Regency. This region is one of the national rice production centers and is vulnerable to heavy metal accumulation due to intensive use of fertilizers and pesticides. The research was conducted in 14 villages, with disturbed soil samples collected for heavy metal and texture analysis, and undisturbed soil samples collected for porosity and permeability analysis. The main parameters analyzed were Cd and Pb concentrations using the ICP-OES method based on SNI 8910:2021. In addition, the pipette method was used for soil texture analysis; bulk and particle densities were used for porosity calculation; and the percolation method was used to measure permeability. Secondary data included the frequency of fertilizer and pesticide application, land use, age, and harvest periods. Results showed that Cd and Pb concentrations at all sampling locations remained below the threshold limits set by quality standards. Pollution assessment using the Contamination Factor (CF), Pollution Load Index (PLI), Geo-accumulation Index (Igeo), and Ecological Risk Index (Er) indicated that paddy fields in Tempuran District are categorized as uncontaminated to very low risk.

**Keywords:** Cadmium; Ecology; Lead; Pollution indeks; Paddy fields; Soil contamination.

### **Pendahuluan**

Kabupaten Karawang merupakan salah satu daerah yang memiliki peran strategis dalam sektor pertanian nasional dan dikenal sebagai lumbung padi di Provinsi Jawa Barat (Chofyan et al., 2016). Kontribusi besar terhadap produksi padi di wilayah ini salah satunya berasal dari Kecamatan Tempuran, yang memiliki luas lahan sawah mencapai 7.177,2 ha berdasarkan Peraturan Bupati Karawang Nomor 91 Tahun 2022 (Prastami et al., 2023). Luasnya lahan persawahan tersebut menjadikan Kecamatan Tempuran sebagai salah satu sentra produksi padi utama di Kabupaten Karawang (Nabila et al., 2023).

Upaya peningkatan produktivitas tanaman padi mendorong petani untuk menggunakan pupuk dan pestisida secara

intensif untuk meningkatkan hasil panen serta melindungi tanaman dari serangan hama dan penyakit (Alloway, 2013). Namun, penggunaan pupuk dan pestisida yang berlebihan berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, khususnya melalui akumulasi logam berat di dalam tanah pertanian (Wuana & Okieimen, 2011). Pupuk fosfat dan pestisida tertentu diketahui dapat menjadi sumber masuknya logam berat seperti Cd dan Pb ke dalam tanah yang kemudian terakumulasi akibat penggunaan secara terus-menerus (Rizwan et al., 2016). Akumulasi logam berat tersebut dapat mencemari lahan sawah dan berpengaruh terhadap kualitas hasil panen (Karyadi et al., 2012).

Data penggunaan pupuk anorganik di Kecamatan Tempuran menunjukkan bahwa

total pemakaian pupuk urea mencapai 1.956.377,5 kg dan pupuk NPK sebesar 1.778.525 kg. Meskipun pemupukan anorganik berperan penting dalam meningkatkan produktivitas pertanian, pupuk jenis ini diketahui mengandung sejumlah logam berat, terutama kadmium (Cd) dan timbal (Pb), meskipun dalam kadar tertentu (Wiyantoko *et al.*, 2017). Dewi *et al.* (2022) melaporkan bahwa beberapa jenis pupuk anorganik mengandung Cd dan Pb dengan kisaran kadar masing-masing sebesar 0,07–0,52 mg/kg dan 10,53–28,09 mg/kg. Selain pupuk, penggunaan pestisida dalam jangka panjang juga berpotensi meninggalkan residu logam berat di tanah pertanian (Karyadi *et al.*, 2012).

Penelitian Dewi *et al.* (2022) menunjukkan bahwa berbagai jenis pestisida dari beragam golongan, seperti organofosfat, avermektin, piretroid, karbamat, dan triazol, terdeteksi mengandung Cd dan Pb dengan kisaran kadar masing-masing sebesar 0,04–0,50 mg/kg dan 2,70–22,31 mg/kg. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan bahan agrokimia secara intensif dapat meningkatkan akumulasi logam berat di dalam tanah, yang berpotensi mengganggu kualitas lingkungan pertanian (Wuana & Okieimen, 2011). Akumulasi logam berat tidak hanya berdampak pada sifat fisik dan kimia tanah, tetapi juga dapat memengaruhi ketersediaan unsur hara serta aktivitas mikroorganisme tanah (Alloway, 2013). Selain itu, logam berat yang terakumulasi di dalam tanah berpotensi diserap oleh tanaman dan masuk ke dalam rantai makanan sehingga dapat membahayakan kesehatan manusia (Rizwan *et al.*, 2016)

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tingkat akumulasi logam berat di lahan pertanian berkaitan dengan lamanya penggunaan lahan secara intensif. Budianta *et al.* (2022) melaporkan bahwa lahan sawah yang telah dibudidayakan selama 80 tahun memiliki kadar Cd dan Pb yang lebih tinggi dibandingkan dengan lahan yang baru digunakan selama 20 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan lahan pertanian dalam jangka panjang berpotensi meningkatkan akumulasi logam berat di tanah akibat proses akumulasi residu dari input pertanian secara terus-menerus (Wuana & Okieimen, 2011). Kondisi tersebut dapat

mengancam keberlanjutan lingkungan dan keamanan pangan karena logam berat dapat terakumulasi dalam tanah dan diserap oleh tanaman pangan (Rizwan *et al.*, 2016).

Dampak pencemaran Cd dan Pb tidak hanya terbatas pada lingkungan, tetapi juga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia (Alloway, 2013). Akumulasi Cd dalam beras diketahui dapat menyebabkan gangguan kesehatan, seperti kerusakan ginjal dan penyakit kronis lainnya (Hindarwati, 2023). Penelitian Panjaitan (2024) di Kota Medan menunjukkan bahwa kadar Cd dalam tanah sawah dan beras telah melampaui ambang batas yang ditetapkan, sehingga berpotensi membahayakan konsumen. Paparan logam berat melalui konsumsi pangan yang terkontaminasi dapat menyebabkan efek toksik jangka panjang karena sifatnya yang bioakumulatif dalam tubuh manusia (Rizwan *et al.*, 2016).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan kajian untuk menilai tingkat pencemaran logam berat Cd dan Pb di lahan persawahan Kecamatan Tempuran, Kabupaten Karawang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kontaminasi logam berat menggunakan indeks pencemaran sebagai dasar dalam mengevaluasi potensi risiko lingkungan dan mendukung upaya pengelolaan lahan pertanian yang berkelanjutan.

## **Bahan dan Metode**

### **Lokasi dan Waktu Penelitian**

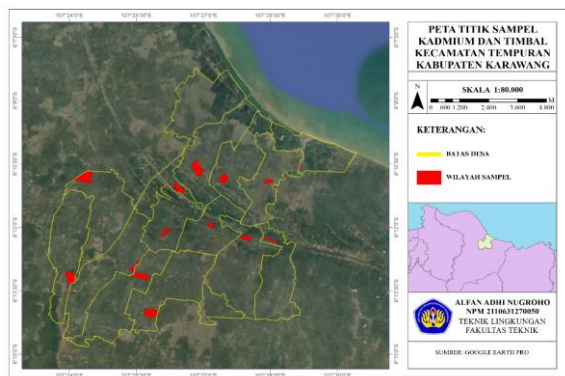
Penelitian ini dilakukan pada lahan sawah di Kecamatan Tempuran, Kabupaten Karawang, Provinsi Jawa Barat, yang terdiri dari 14 desa. Pemilihan lokasi didasarkan pada luas lahan sawah yang mencapai 7.177,2 ha serta perannya sebagai salah satu sentra produksi padi di Kabupaten Karawang. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada musim tanam aktif tahun 2025, yaitu pada tanggal 21–23 April 2025.

### **Pengambilan Sampel Tanah**

Jumlah titik sampel tanah dalam penelitian ini sebanyak 14 titik, masing-masing mewakili satu desa di Kecamatan Tempuran. Pada setiap desa, pengambilan sampel dilakukan pada satu hamparan sawah yang memiliki kondisi lahan dan masa tanam yang relatif

seragam. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode yang dikemukakan oleh Charles dan Curell (2023), yaitu dari setiap hamparan sawah diambil 10 subsampel tanah yang kemudian dikomposisikan menjadi satu sampel tanah representatif.

Sampel tanah terganggu diambil dari lapisan topsoil dengan kedalaman 0–20 cm menggunakan sekop. Setiap subsampel memiliki berat sekitar 200–300 g, kemudian dihomogenkan, dibersihkan dari batu dan sisa tanaman, serta disimpan dalam kantong plastik polietilen hingga mencapai berat  $\pm 1$  kg untuk dianalisis di laboratorium. Pengambilan sampel tanah tidak terganggu untuk analisis porositas dan permeabilitas dilakukan menggunakan metode menurut Kurnia *et al.* (2007), yaitu dengan tabung silinder berdiameter 5 cm dan kedalaman 5–10 cm. Pengambilan dilakukan secara hati-hati untuk menjaga struktur tanah tetap utuh.



**Gambar 1.** Lokasi penelitian dan sebaran titik pengambilan sampel tanah

### Pewadahan dan Penanganan Sampel

Sampel tanah yang telah diambil dimasukkan ke dalam kantong plastik polietilen tebal yang kedap udara untuk mencegah kontaminasi dan perubahan sifat tanah (FAO, 2006). Selanjutnya, sampel ditempatkan dalam karung goni untuk melindungi dari kerusakan mekanis selama proses transportasi menuju laboratorium.

### Analisis Kadar Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb)

Metode analisis kadar logam berat Cd dan Pb mengacu pada SNI 8910:2021 dengan teknik destruksi asam dan pengukuran menggunakan

*Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES). Hasil analisis dinyatakan dalam satuan mg/kg (BSN, 2021).

### Analisis Sifat Fisik Tanah

Analisis sifat fisik tanah meliputi tekstur tanah, porositas, dan permeabilitas. Tekstur tanah ditentukan menggunakan metode sedimentasi berdasarkan Hukum Stokes untuk mengetahui fraksi pasir, debu, dan lempung (Gee & Or, 2002). Porositas tanah dihitung berdasarkan nilai berat isi dan berat jenis partikel tanah (Blake & Hartge, 1986). Berat isi ditentukan menggunakan metode cincin, sedangkan berat jenis partikel diukur dengan metode piknometer (Grossman & Reinsch, 2002). Permeabilitas tanah dianalisis menggunakan metode perkolasi di laboratorium dengan prinsip Hukum Darcy untuk memperoleh nilai konduktivitas hidrolik tanah jenuh (Klute & Dirksen, 1986).

### Analisis Indeks Pencemaran

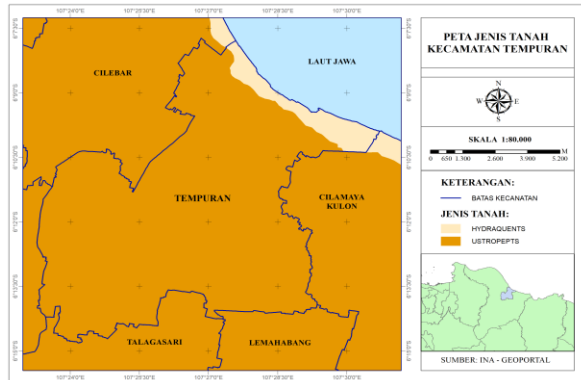
Tingkat pencemaran logam berat dianalisis menggunakan beberapa indeks, yaitu Faktor Kontaminasi (Cf), Indeks Beban Pencemaran (PLI), Risiko Ekologis (Er), Indeks Potensi Risiko Ekologis (RI), dan Indeks Geoakumulasi (Igeo). Analisis ini digunakan untuk mengevaluasi tingkat kontaminasi serta potensi risiko ekologis akibat keberadaan logam berat Cd dan Pb di tanah sawah.

### Hasil dan Pembahasan

#### Karakteristik Tanah Sawah Kecamatan Tempuran

Karakteristik tanah sawah di Kecamatan Tempuran dipengaruhi oleh jenis tanah dominan yang berkembang di wilayah tersebut (Herdianyah *et al.*, 2022). Untuk memberikan gambaran spasial mengenai sebaran jenis tanah, disajikan peta jenis tanah Kecamatan Tempuran pada **Gambar 2**. Berdasarkan Peta Jenis Tanah Kecamatan Tempuran, hampir seluruh wilayah Kecamatan Tempuran termasuk kelompok tanah Ustropepts, dengan sebagian kecil area pesisir tergolong Hydraquents. Tanah Ustropepts merupakan subordo dari Inceptisols yang berkembang pada kondisi iklim tropis dengan rezim kelembapan ustik, dicirikan oleh horizon

kambik (Bw) yang menunjukkan perkembangan profil awal (Tarjulin, 2019).



**Gambar 2.** Peta Jenis Tanah Kecamatan Tempuran

Karakteristik Inceptisols umumnya menunjukkan tingkat perkembangan tanah yang masih awal dengan sifat fisik yang dipengaruhi oleh bahan induk dan kondisi lingkungan setempat (Prasetyo & Suriadikarta, 2006). Secara umum, tanah ini memiliki tekstur bervariasi dari lempung berpasir hingga lempung liat berdebu, dengan drainase relatif baik dan permeabilitas sedang. Tanah-tanah tersebut berkembang pada sedimen aluvial Kuartar, bukan bahan induk vulkanik primer, sebagaimana ditunjukkan oleh susunan horizon A–Bw–C khas Inceptisols pada Formasi Qoa (*Old Alluvium*) di wilayah Karawang (Demokratisias *et al.*, 2020).

**Tabel 1.** Hasil Karakteristik Tanah Sawah di Kecamatan Tempuran

Desa	Tekstur Tanah			Kategori	Porositas	Permeabilitas (cm <sup>3</sup> /jam)
	Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)			
Purwajaya	16,94	41,04	42,02	Liat Berdebu	0,53	3,82
Lemahsubur	5,41	46,05	48,54	Liat Berdebu	0,68	5,13
Lemahkarya	5,20	47,22	47,58	Liat Berdebu	0,62	9,74
Lemahduhur	3,23	47,81	48,96	Liat Berdebu	0,56	4,01
Lemahmakmur	7,89	45,95	46,16	Liat Berdebu	0,71	4,10
Dayeuhluhur	6,88	45,77	47,35	Liat Berdebu	0,57	3,91
Tanjungjaya	20,34	33,21	46,45	Liat	0,60	3,91
Jayanegara	8,95	43,98	47,06	Liat Berdebu	0,71	5,09
Pagadungan	21,33	37,71	40,96	Liat	0,76	3,91
Sumberjaya	25,95	36,27	37,78	Lempung Berliat	0,77	3,91
Tempuran	7,78	45,28	46,94	Liat Berdebu	0,67	4,54
Cikuntul	19,14	37,84	43,03	Liat	0,76	3,82
Pancakarya	6,38	45,19	48,43	Liat Berdebu	0,66	4,76
Ciparagejaya	4,04	45,85	50,11	Liat Berdebu	0,70	4,01

Hasil analisis tekstur tanah pada **Tabel 1** menunjukkan bahwa fraksi liat mendominasi seluruh lokasi penelitian dengan kisaran 37,78%–50,11%, diikuti fraksi debu sebesar 33,21%–47,81%, dan fraksi pasir yang relatif kecil, yaitu 3,23%–25,95%. Mayoritas tekstur tanah tergolong liat berdebu, sedangkan Desa Tanjungjaya, Pagadungan, dan Cikuntul tergolong liat, serta Desa Sumberjaya termasuk kategori lempung berliat. Dominasi fraksi liat ini mencerminkan intensitas pelapukan kimia mineral primer di lingkungan tropis yang

menghasilkan mineral liat sekunder seperti kaolinit, illit, atau smektit (Wilson, 1999). Selain melalui transformasi mineral, akumulasi liat juga dapat dipengaruhi oleh proses translokasi partikel halus dari horizon atas ke horizon bawah (*lessivage* atau *argilluviation*), yang menyebabkan suatu horizon menjadi kaya liat meskipun tingkat pelapukan mineral tidak terlalu ekstrem (Zulfa & Bowo, 2023). Kondisi tersebut konsisten dengan karakteristik tanah Inceptisols di wilayah beriklim lembap yang umumnya menunjukkan proporsi fraksi liat yang cukup

tinggi akibat proses pedogenesis awal dan akumulasi partikel halus (Indrawati et al., 2020).

Nilai porositas tanah di Kecamatan Tempuran berkisar antara 0,53 hingga 0,77 atau setara dengan 53%–77%, dan seluruhnya termasuk dalam kategori baik menurut klasifikasi Suryana et al. (2022). Porositas yang relatif tinggi ini menunjukkan bahwa tanah memiliki ruang pori yang cukup besar untuk menyimpan air serta mendukung aerasi tanah (Hillel, 2004). Tingginya porositas tersebut berkaitan dengan peran bahan organik dalam memperbaiki struktur tanah, di mana aktivitas mikroorganisme dan proses dekomposisi bahan organik berkontribusi terhadap pembentukan agregat tanah (Widodo & Kusuma, 2018). Proses ini juga berperan dalam meningkatkan stabilitas agregat tanah sehingga mampu mempertahankan sistem pori yang baik (Refliaty & Marpaung, 2010). Kondisi ini mendukung kemampuan tanah sawah dalam menahan air pada kapasitas lapang dan menjaga kelembapan tanah yang diperlukan bagi pertumbuhan tanaman (Brady & Weil, 2016).

Permeabilitas tanah di Kecamatan Tempuran tergolong dalam kelas sedang menurut klasifikasi Umland dan O'Neil (1951), yang menunjukkan bahwa pergerakan air di dalam tanah berlangsung secara seimbang, tidak terlalu cepat seperti pada tanah berpasir kasar dan tidak pula terlalu lambat seperti pada tanah liat padat. Kondisi ini memungkinkan terjadinya infiltrasi yang cukup baik sekaligus menjaga ketersediaan aerasi tanah (Hillel, 2004). Desa Lemahkarya memiliki nilai permeabilitas tertinggi sebesar  $9,74 \text{ cm}^3/\text{jam}$  dan termasuk dalam kategori agak cepat, yang mengindikasikan keberadaan makropori berukuran relatif besar serta saling terhubung dengan baik.

Keberadaan makropori tersebut umumnya dipengaruhi oleh struktur tanah yang gembur dan kandungan bahan organik yang relatif tinggi, sehingga dapat meningkatkan konduktivitas hidraulik tanah (Larsbo & Koestel, 2014). Kandungan bahan organik berperan dalam pembentukan agregat tanah yang stabil dan meningkatkan jumlah pori makro yang berfungsi sebagai jalur aliran air (Lorenza, 2018). Secara keseluruhan, tanah sawah di Kecamatan Tempuran didominasi oleh fraksi liat, memiliki porositas yang tinggi, serta permeabilitas sedang, yang mencerminkan proses perkembangan tanah pada lingkungan aluvial tua dengan tingkat

pelapukan kimia yang cukup intens. Kombinasi sifat fisik ini berperan penting dalam mendukung kemampuan tanah untuk menyimpan air, menjaga aerasi, serta menunjang aktivitas pertanian, sekaligus memengaruhi dinamika pergerakan dan retensi unsur terlarut di dalam profil tanah.

### Kadar Cd dan Pb pada Tanah Sawah

Kadar Cd dan Pb pada tanah sawah di Kecamatan Tempuran dianalisis di seluruh desa penelitian, dengan setiap sampel diuji secara simplo dan duplo. Hasil analisis disajikan pada **Tabel 2**. Konsentrasi Cd terukur berada pada kisaran 0,02–0,05 mg/kg, dengan beberapa lokasi menunjukkan nilai tidak terdeteksi (nd). Nilai tersebut jauh di bawah baku mutu 0,5 mg/kg yang ditetapkan oleh *Ministry of State for Population and Environment of Indonesia–Dalhousie University*, sehingga menunjukkan bahwa tanah sawah di Kecamatan Tempuran belum mengalami kontaminasi Cd yang signifikan (Santoso, 2016).

**Tabel 2.** Hasil Analisis Kadar Cd dan Pb

Desa	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Purwajaya	0,02	4,83
Lemahsubur	0,04	6,51
Lemahkarya	nd	2,10
Lemahduhur	nd	0,46
Lemahmakmur	nd	6,99
Dayeuhluhur	0,05	7,19
Tanjungjaya	nd	4,31
Jayanegara	0,04	5,74
Pagadungan	0,02	3,92
Sumberjaya	0,02	4,34
Tempuran	nd	0,90
Cikuntul	nd	3,11
Pancakarya	0,03	6,01
Ciparagejaya	nd	2,57

Keterangan: nd = *not detected* (tidak terdeteksi)

Rendahnya kadar Cd ini dapat dijelaskan oleh karakteristik tanah Inceptisol yang mendominasi wilayah penelitian. Inceptisol diketahui memiliki kapasitas adsorpsi dan daya sangga yang tinggi terhadap Cd, sehingga meskipun terdapat masukan logam berat dari pupuk atau aktivitas antropogenik, fraksi Cd yang larut dan bersifat bioavailabel tetap rendah. Widowati (2008) melaporkan bahwa Inceptisol di Provinsi Brebes memiliki kapasitas adsorpsi

maksimum Cd hingga sekitar  $879 \mu\text{g g}^{-1}$ , dengan perbedaan nyata antara Cd total dan Cd tersedia, yang menunjukkan bahwa sebagian besar Cd tertahan kuat dalam matriks tanah. Selain itu, Patra (2021) menyatakan bahwa pada Inceptisol, logam berat cenderung terakumulasi pada fase residual atau terjerap dalam mikroagregat tanah yang kaya akan fraksi halus dan bahan organik, sehingga mobilitas dan bioavailabilitas Cd menjadi rendah. Sifat fisik tanah Inceptisol berupa porositas yang baik dan permeabilitas sedang juga memperlambat pergerakan air dalam profil tanah, memberi waktu lebih panjang bagi interaksi Cd dengan permukaan liat dan fase organik-mineral, yang pada akhirnya menurunkan peluang terjadinya pencucian (*leaching*). Hal ini sejalan dengan temuan bahwa semakin halus tekstur tanah, semakin besar pula kemampuan tanah dalam menahan logam berat dibandingkan dengan tanah bertekstur kasar (Mohammad, 2021).

Kadar Pb pada tanah sawah di Kecamatan Tempuran terukur antara 0,46–7,19 mg/kg, yang juga jauh di bawah nilai baku mutu 100 mg/kg. Meskipun konsentrasi Pb lebih tinggi dibandingkan dengan Cd, seluruh nilainya masih berada dalam kategori aman. Rendahnya kadar Pb ini berkaitan erat dengan sifat fisikokimia tanah Inceptisol yang didominasi oleh fraksi halus, dengan kandungan liat sebesar 37,78%–50,11% dan debu 33,21%–47,81% (Alloway, 2013). Tanah bertekstur liat–debu memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi dan banyak situs sorpsi yang mampu mengikat logam berat (Sparks, 2003). Kondisi tersebut menyebabkan logam berat seperti Pb cenderung teradsorpsi kuat oleh fraksi liat dan debu sehingga mobilitasnya menjadi rendah dan tidak mudah larut maupun berpindah (Uddin *et al.*, 2017).

Nilai porositas tanah yang berada pada kisaran 0,53–0,77 (53%–77%) juga berperan dalam mengendalikan mobilitas Pb (Hillel, 2004). Struktur tanah dengan porositas dan agregasi yang baik dapat memperlambat pergerakan air dan ion logam melalui profil tanah, sehingga memberikan waktu lebih lama bagi proses adsorpsi oleh partikel halus dan fase organik-mineral (Brady & Weil, 2016). Selain itu, interaksi antara pori tanah dan distribusi ukuran partikel turut memengaruhi dinamika retensi dan transport logam berat di dalam tanah (Sparks, 2003). Yu *et al.* (2022) menunjukkan

bahwa tanah bertekstur liat dengan struktur agregat yang baik mampu meningkatkan retensi logam berat serta menurunkan ketersediaannya untuk mobilisasi maupun penyerapan oleh tanaman.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar Cd dan Pb pada tanah sawah di Kecamatan Tempuran masih berada jauh di bawah nilai ambang batas yang ditetapkan. Karakteristik dominan tanah Inceptisol berupa tingginya fraksi liat dan debu, porositas yang baik, struktur agregat stabil, serta kapasitas adsorpsi yang besar berkontribusi kuat dalam mengendalikan pergerakan, pelarutan, dan ketersediaan biologis Cd maupun Pb (Sparks, 2003). Sifat-sifat tersebut menyebabkan logam berat cenderung terikat pada fase residual atau matriks mikroagregat dan tidak mudah termobilisasi dalam lingkungan tanah (Tressier *et al.*, 1979). Dengan demikian, faktor alamiah tanah Inceptisol menjadi salah satu penjelas utama rendahnya konsentrasi logam berat di wilayah penelitian.

### Analisis Indeks Pencemaran

Tingkat pencemaran logam berat pada tanah sawah di Kecamatan Tempuran dianalisis menggunakan indeks faktor kontaminasi (Cf) dan indeks beban polusi (PLI) untuk logam Cd dan Pb. Nilai Cf untuk Cd dan Pb di seluruh desa berada pada kategori tidak tercemar ( $Cf < 1$ ), yang menunjukkan tingkat kontaminasi logam berat yang rendah dalam tanah (Hakanson, 1980). Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat di tanah sawah Kecamatan Tempuran masih tergolong rendah dan belum menunjukkan adanya akumulasi signifikan akibat aktivitas antropogenik (Alloway, 2013). Nilai Cd tertinggi ditemukan di Desa Dayeuhluhur, yang diduga berkaitan dengan intensitas penggunaan pupuk dan pestisida yang lebih tinggi dibandingkan dengan desa lainnya (Wuana & Okieimen, 2011). Pada beberapa desa, Cd tidak terdeteksi karena konsentrasinya berada di bawah batas deteksi alat, yang menunjukkan tingkat pencemaran yang sangat rendah atau bahkan tidak ada (Sutherland, 2000).

**Tabel 3.** Hasil Perhitungan Cf dan PLI

Desa	Cf		PLI
	Cd	Pb	
Purwajaya	0,07	0,28	0,01
Lemahsubur	0,13	0,38	0,03
Lemahkarya	-	0,12	0,12
Lemahduhur	-	0,03	0,03
Lemahmakmur	-	0,41	0,41
Dayeuhluhur	0,17	0,42	0,04
Tanjungjaya	-	0,25	0,25
Jayanegara	0,13	0,34	0,02
Pagadungan	0,07	0,23	0,01
Sumberjaya	0,07	0,26	0,01
Tempuran	-	0,05	0,05
Cikuntul	-	0,18	0,18
Pancakarya	0,10	0,35	0,04
Ciparagejaya	-	0,15	0,15

Berdasarkan nilai PLI, seluruh lokasi penelitian menunjukkan nilai PLI < 1 yang mengindikasikan bahwa tanah sawah di Kecamatan Tempuran tergolong tidak tercemar oleh logam berat Cd dan Pb (Tomlinson *et al.*, 1980). Rendahnya nilai PLI mengindikasikan bahwa kontribusi sumber pencemar dari aktivitas pertanian maupun sumber antropogenik lainnya masih sangat terbatas (Alloway, 2013). Selain itu, sifat fisik tanah yang memiliki porositas baik turut berperan dalam mengendalikan retensi dan distribusi logam berat dalam tanah (Hillel, 2004).

**Tabel 4.** Hasil Perhitungan Risiko Ekologi

Desa	Er Cd	Er Pb	Ri
Purwajaya	2	1,42	3,42
Lemahsubur	4	1,91	5,91
Lemahkarya	-	0,62	0,62
Lemahduhur	-	0,13	0,13
Lemahmakmur	-	2,05	2,05
Dayeuhluhur	5	2,11	7,11
Tanjungjaya	-	1,27	1,27
Jayanegara	4	1,69	5,69
Pagadungan	2	1,15	3,15
Sumberjaya	2	1,28	3,28
Tempuran	-	0,26	0,26
Cikuntul	-	0,91	0,91
Pancakarya	3	1,77	4,77
Ciparagejaya	-	0,75	0,75

Permeabilitas tanah yang sedang hingga agak cepat juga memengaruhi dinamika pergerakan air dan unsur terlarut sehingga dapat membatasi akumulasi logam berat di lapisan olah tanah (Brady & Weil, 2016). Penilaian risiko ekologi dilakukan untuk mengetahui potensi dampak cemaran logam berat terhadap

organisme tanah melalui perhitungan nilai risiko ekologis (Ecological Risk/Er) dan indeks risiko total (Risk Index/RI).

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh nilai Er untuk Cd dan Pb berada pada kategori risiko ekologis rendah ( $Er < 40$ ), yang mengindikasikan tingkat ancaman yang minimal terhadap lingkungan (Hakanson, 1980). Meskipun Cd memiliki faktor toksisitas yang lebih tinggi dibandingkan Pb, rendahnya nilai faktor kontaminasi menyebabkan kontribusi risiko ekologis Cd tetap berada pada tingkat yang tidak membahayakan (Alloway, 2013). Nilai RI yang merupakan akumulasi dari nilai Er Cd dan Pb juga menunjukkan kategori risiko rendah ( $RI < 150$ ), yang mengindikasikan bahwa cemaran logam berat belum memberikan tekanan signifikan terhadap keseimbangan ekosistem tanah sawah (Sutherland, 2000). Selain itu, tingkat pencemaran logam berat juga dianalisis menggunakan indeks geoakumulasi (Igeo) untuk mengetahui adanya pengayaan logam berat akibat aktivitas antropogenik.

**Tabel 3.** Hasil Perhitungan indeks geoakumulasi (Igeo)

Desa	Cd	Pb
Purwajaya	-5,23	-4,96
Lemahsubur	-4,23	-4,53
Lemahkarya	0	-6,16
Lemahduhur	0	-8,36
Lemahmakmur	0	-4,42
Dayeuhluhur	-3,91	-4,38
Tanjungjaya	0	-5,12
Jayanegara	-4,23	-4,71
Pagadungan	-5,23	-5,26
Sumberjaya	-5,23	-5,11
Tempuran	0	-7,38
Cikuntul	0	-5,59
Pancakarya	-4,64	-4,64
Ciparagejaya	0	-5,87

Berdasarkan hasil perhitungan Igeo, seluruh nilai Igeo Cd dan Pb bernilai negatif ( $Igeo < 0$ ), sehingga tanah sawah di seluruh desa diklasifikasikan sebagai tidak tercemar. Nilai Igeo yang negatif menunjukkan bahwa kandungan logam berat di tanah sawah Kecamatan Tempuran masih berada di bawah nilai latar belakang alami dan belum mengalami peningkatan akibat aktivitas manusia (Turekian & Wedepohl, 1961). Hasil ini sejalan dengan nilai Cf, PLI, serta indeks risiko ekologi yang

secara konsisten menunjukkan tingkat pencemaran dan risiko ekologis yang rendah (Hakanson, 1980). Konsistensi antarindeks tersebut mengindikasikan bahwa sumber pencemar logam berat di wilayah penelitian masih sangat terbatas dan belum memberikan dampak signifikan terhadap kualitas lingkungan tanah (Alloway, 2013).

Secara keseluruhan, hasil analisis berbagai indeks pencemaran dan risiko ekologi menunjukkan bahwa tanah sawah di Kecamatan Tempuran masih berada dalam kondisi ekologis yang stabil dan relatif aman dari ancaman pencemaran logam berat Cd dan Pb.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kadar logam berat, karakteristik tanah, serta perhitungan berbagai indeks pencemaran, dapat disimpulkan bahwa tanah sawah di Kecamatan Tempuran, Kabupaten Karawang, masih berada dalam kondisi tidak tercemar oleh logam Cd dan Pb. Nilai Cf dan PLI untuk logam Cd dan Pb di seluruh desa menunjukkan kategori tidak tercemar ( $Cf < 1$  dan  $PLI < 1$ ), yang mengindikasikan bahwa akumulasi logam berat akibat aktivitas antropogenik masih tergolong rendah. Penilaian Er dan RI juga menunjukkan bahwa seluruh lokasi penelitian berada pada kategori risiko ekologis rendah, sehingga keberadaan Cd dan Pb belum memberikan tekanan yang berarti terhadap keseimbangan ekosistem tanah sawah. Hasil Igeo yang seluruhnya bernilai negatif menguatkan bahwa kandungan Cd dan Pb di tanah sawah Kecamatan Tempuran masih berada di bawah nilai latar belakang alami dan belum mengalami pengayaan akibat aktivitas manusia.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan artikel ini, serta kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan selama proses penulisan. Penulis berharap artikel ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

### Referensi

- Alloway, B. J. (2013). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (3rd ed.). *Springer*. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-4470-7>
- Badan Standardisasi Nasional. (2021). SNI 8910:2021—Cara uji kadar logam dalam contoh uji limbah padat, sedimen, dan tanah dengan metode destruksi asam menggunakan spektrometer serapan atom (SSA)-Nyala atau inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/13428-sni89102021>
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 1*. ASA and SSSA. [https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2e.d.c13Digital Object Identifier \(DOI\)](https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2e.d.c13Digital Object Identifier (DOI))
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson. [https://www.researchgate.net/publication/301200878\\_The\\_Nature\\_and\\_Properties\\_of\\_Soils\\_15th\\_edition](https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition)
- Budianta, D., Napoleon, A., & Bolan, N. (2022). Heavy metals in Indonesian paddy soils. In *Heavy Metals—Recent Advances*. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/85130>
- Chofyan, I., Rustan, U., & Hariyanto, A. (2016). Upaya mempertahankan Kabupaten Karawang sebagai lumbung padi nasional. *Ethos: Jurnal Penelitian dan Pengabdian (Sains & Teknologi)*. <https://ejournal.unisba.ac.id/index.php/ethos/article/view/1685>
- Demokrasi, M. A. (2020). Klasifikasi dan perkembangan tanah pada formasi geologi berumur Tersier dan Kuartar di Kabupaten Karawang. *IPB Scientific Repository*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/102563>
- Dewi, T., Martono, E., Hanudin, E., & Harini, R. (2022). Impact of agrochemicals application on lead and cadmium concentrations in shallot fields and their

- remediation with biochar, compost, and botanical pesticides. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1109/1/012050>
- Food and Agriculture Organization. (2006). Guidelines for soil description (4th ed.). <https://www.fao.org/3/a0541e/a0541e.pdf>
- Gee, G. W., & Or, D. (2002). Particle-size analysis. In J. H. Dane & G. C. Topp (Eds.), *Methods of soil analysis: Part 4. Soil Science Society of America*. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2136/sssabookser5.4>
- Grossman, R. B., & Reinsch, T. G. (2002). Bulk density and linear extensibility. In J. H. Dane & G. C. Topp (Eds.), *Methods of soil analysis: Part 4—Physical methods* (pp. 201–228). Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c9>
- 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)
- Herdiansyah, G., Arifin, M., & Suriadikusumah, A. (2022). The pedogenesis of Inceptisols on southeast toposequence of Mount Manglayang in West Java, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 9(2), 195–208. <https://doi.org/10.17014/ijog.9.2.195-208>
- Hillel, D. (2004). *Introduction to environmental soil physics*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-348655-4.X5000-X>
- Hindarwati, Y., Soeprbowati, T. R., Izzati, M., & Hadiyanto, H. (2023). Kontaminan logam berat (Pb, Cd, dan Cu) pada tanah dari pemupukan berbasis jerami padi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1). <https://doi.org/10.14710/jil.21.1.8-14>
- Indrawati, U. S. Y. V., Manurung, R., & Lopita, D. (n.d.). Pengaruh biochar sabut kelapa (*Cocos nucifera*) terhadap ketersediaan fosfor pada tanah Inceptisols di Desa Pal IX Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Sains Pertanian Equator*, 9(2). <https://doi.org/10.26418/jspe.v9i2.40531>
- Karyadi, K., Syafrudin, S., & Soterisnanto, D. (2012). Akumulasi logam berat timbal (Pb) sebagai residu pestisida pada lahan pertanian. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.14710/jil.9.1.1-9>
- Klute, A. and Dirksen, C. (1986) *Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods*. In: Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition, Agronomy Monograph No. 9, ASA, Madison, 687-734. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c28>
- Larsbo, M., Koestel, J., & Jarvis, N. (2014). Relations between macropore network characteristics and the degree of preferential solute transport. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 5255–5269. <https://doi.org/10.5194/hess-18-5255-2014>
- Lorensa, Y. (2018). Studi stabilitas agregat dan makroporositas tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan berbasis agroforestri (Skripsi). Universitas Brawijaya. <https://repository.ub.ac.id/11568/>
- Mohammad, S. J., Ling, Y. E., Halim, K. A., et al. (2025). Heavy metal pollution and transformation in soil: A comprehensive review of natural bioremediation strategies. *J. Umm Al-Qura Univ. Appl. Sci.*, 11, 528–544. <https://doi.org/10.1007/s43994-025-00241-6>
- Nabila, P., Abubakar, A., & Wijaya, I. P. E. (2023). Analisis pengaruh program makmur terhadap peningkatan produksi usahatani padi. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*. <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jspe/article/view/29835>
- Panjaitan, N. (2023). Analisis kandungan logam berat Cd pada tanah dan beras di lahan sawah Kota Medan (Skripsi). Universitas

- Sumatera Utara.  
<https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/99915>
- Patra, A., Singh, S. K., Chattopadhyay, A., Sharma, V. K., & Rekwar, R. K. (2021). Chemical fractionations and mobility of heavy metals in soils. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 91(5), 761–766. <https://doi.org/10.56093/ijas.v91i5.113098>
- Prasetyo, B. H., & Suriadikarta, D. A. (2006). Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah Inceptisol untuk pertanian. *Jurnal Litbang Pertanian*, 25(2), 39–47. <https://ejurnal.litbang.pertanian.go.id/index.php/jitl/article/view/1603>
- Prastami, D. A., Abubakar, A., & Afifah, L. (2023). Analisis pendapatan usahatani padi pada program petani makmur. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*. <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JIA/article/view/7042>
- Refliaty, & Marpaung, E. J. (2010). Kemantapan agregat Ultisol pada beberapa penggunaan lahan. *Jurnal Hidrolitan*, 1(2), 35–42. <https://paperity.org/p/337806975/kemantapan-agregat-ultisol-pada-beberapa-penggunaan-lahan-dan-kemiringan-lereng>
- Rizwan, M., Ali, S., Abbas, T., Adrees, M., Ziaur-Rehman, M., Ibrahim, M., & Qayyum, M. F. (2016). Residual effects of heavy metals on growth and accumulation in rice. *Science of the Total Environment*, 569–570, 1410–1420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.003>
- Santoso, S., Haumahu, J., & Habi, M. (2016). Analisis spasial pencemaran logam berat sebagai dampak tempat pembuangan akhir sampah kota ambon pada das wai yori di negeri passo. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 12(2), 55-65. Retrieved from <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/bdp/article/view/324>
- Sparks, D.L. (2003) *Environmental Soil Chemistry*. 2nd Edition, Academic Press, Oxford.
- Suryana, D. R. H., Hendarmawan, H., & Waliyana, T. Y. (2022). Pemodelan karakteristik aliran air tanah sistem porous. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 23(1), 35–51. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23i1.563>
- Sutherland, R. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology* 39, 611–627 (2000). <https://doi.org/10.1007/s002540050473>
- Tarjulin, E. (2019). Klasifikasi tanah pada 3 pedon tipikal di UB Forest (Skripsi). Universitas Brawijaya. <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/172936/>
- Tessier, A., Campbell, P. G. C., & Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51(7), 844–851. <https://doi.org/10.1021/ac50043a017>
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R. and Jeffrey, D.W. (1980) Problems in the Assessment of Heavy-Metal Levels in Estuaries and the Formation of a Pollution Index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33, 566-575.
- Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H. (1961) Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72, 175-192.
- Uddin, M. K. (2017). A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals. *Chemical Engineering Journal*, 308, 438–462. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.029>
- Uhland, R. E., O'Neal, A. M., & United States Soil Conservation Service. (1951). Soil permeability determinations for use in soil and water conservation. <https://searchworks.stanford.edu/view/13425748>
- Widodo, K. H., & Kusuma, Z. (2018). Pengaruh kompos terhadap sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman jagung di Inceptisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(2), 959–967.

- <https://jtsl.ub.ac.id/index.php/jtsl/index>
- Widowati, L. R., et al. (2003). Daya erap Inceptisols terhadap logam berat Cd. IPB Scientific Repository. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/53999>
- Wilson, M. J. (1999). The origin and formation of clay minerals in soils. *Clay Minerals*, 34(1), 7–25. <https://doi.org/10.1180/000985599545957>
- Wiyantoko, B., Kurniawati, P., & Purbaningtias, T. E. (2017). Pengujian nitrogen total dan cemaran logam timbal pada pupuk. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 6(1). <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v6i1.9439>
- Wuana, R.A. and Okieimen, F.E. (2011) Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42, 111-122. <http://dx.doi.org/10.5402/2011/402647>
- Yu, H., Li, C., Yan, J., et al. (2023). Adsorption characteristics and influencing mechanism of heavy metals in farmland soil. *RSC Advances*, 13(6), 3505–3519. <https://doi.org/10.1039/D2RA07095B>
- Zulfa, N. I., & Bowo, C. (2023). Tekstur dan bahan organik tanah serta hubungannya dengan batas Atterberg. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10(2), 327–334. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.16>