

# Distribusi Logam Berat Pb, Cd, Cr, Ni dan Risiko Kesehatan Akibat Paparan Logam Berat Melalui Saluran Pencernaan di Lahan Sawah Sekitar Kawasan Industri Kabupaten Bandung

## *Distribution of Heavy Metal Pb, Cd, Cr, Ni and Health Risks Due to Exposure to Heavy Metals Through Ingestion in Rice Fields Around the Industrial Area of Bandung Regency*

Cicik Oktasari Handayani\*, Sukarjo, Triyani Dewi

Pusat Riset Hortikultura dan Perkebunan, Organisasi Riset Pertanian dan Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Cibinong Science Center, Jl. Raya Jakarta-Bogor Km.46, Cibinong Jawa Barat

### INFORMASI ARTIKEL

#### Riwayat artikel:

Diterima: 11 Maret 2022  
Disetujui: 14 Juni 2022  
Dipublikasi online: 19 Juli 2022

#### Kata Kunci:

Indeks geoakumulasi  
Lahan sawah  
Limbah industri  
Risiko kesehatan

#### Keywords:

Health risk  
Industry waste  
Geoaccumulation index  
Paddy field

#### Direview oleh:

Linca Anggria, Anicetus  
Wihardjaka

**Abstrak.** Pencemaran logam berat pada lahan pertanian menjadi isu penting karena produk pertanian yang dihasilkan akan dikonsumsi oleh masyarakat sehingga akan berdampak pada kesehatan masyarakat. Limbah industri merupakan salah satu sumber logam berat di lahan pertanian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui status dan pola distribusi logam berat serta kesehatan masyarakat yang terkait dengan paparan logam berat melalui saluran pencernaan dari tanah sawah di sekitar kawasan industri Kabupaten Bandung. Metode yang dilakukan adalah metode survei melalui pengambilan contoh tanah pada 37 titik lokasi di sekitar kawasan industri yang ditentukan secara *grid* pada peta penggunaan lahan. Analisis tanah meliputi konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cr dan Ni. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cr, dan Ni pada tanah masih berada di bawah batas kritis. Berdasarkan nilai indeks geoakumulasi, keberadaan logam Cd pada lahan sawah di sekitar kawasan industri sebagian besar bersumber dari aktivitas manusia. Nilai rata-rata asupan mingguan akibat paparan logam berat melalui saluran pencernaan oleh anak-anak dan orang dewasa telah melebihi batas toleransi yang ditetapkan FAO/WHO untuk logam Pb, Cd, Cr dan Ni berturut-turut sebesar 0,0250, 0,0070, 0,0233 dan 0,0350 mg kg<sup>-1</sup>minggu<sup>-1</sup>.

**Abstract.** Heavy metal pollution on agricultural land is an important issue because the agricultural products produced will be consumed by the community so that it will have an impact on public health. Industrial waste is one source of heavy metals in agricultural land. The purpose of this study was to determine the status and distribution pattern of heavy metals and public health related to heavy metals ingested from paddy fields around the industrial area of Bandung Regency. The method used is the survey method by taking soil samples at 37 location points around the industrial area which are determined on a grid on the land use map. Soil analysis included heavy metal concentrations of Pb, Cd, Cr and Ni. The results of this study indicate that the concentration of heavy metals Pb, Cd, Cr, and Ni in the soil is still below the quality standard. Based on geoaccumulation index value, the accumulation of Cd metal in paddy fields around industrial areas mostly comes from human activities. The average weekly intake of heavy metals from soil ingested by children and adults has exceeded the tolerance limits set by FAO/WHO for Pb, Cd, Cr and Ni respectively 0.0250, 0.0070, 0.0233 and 0.0350 mg kg<sup>-1</sup> week<sup>-1</sup>.

## Pendahuluan

Logam berat pada lahan pertanian dapat bersumber dari aktivitas pertanian berupa penggunaan pupuk dan pestisida yang intensif (Tian *et al.* 2022), asap kendaraan bermotor (Nargis *et al.* 2022), bahan induk tanah, limbah industri yang terangkut oleh air permukaan dan pengendapan atmosfer (Anaman *et al.* 2022) atau air limbah yang digunakan sebagai pengairan (Panhwar *et al.* 2022), bahkan dapat bersumber dari debu pada saat terjadi badai (Luo *et al.* 2022) seperti angin topan yang mampu memindahkan logam berat ke lahan pertanian (Ji *et al.* 2021).

Salah satu industri yang limbahnya mengandung logam berat adalah industri tekstil. Limbah tekstil sangat beragam dalam hal komposisi kimia karena berbagai bahan kimia termasuk logam berat digunakan dalam pengolahan tekstil. Pewarna tekstil mengandung konsentrasi logam berat Pb, Cd, As, Zn, Cr, Co dan Cu (Swarnkumar Reddy & Osborne 2020). Kromium (Cr) digunakan untuk memperkenalkan ketahanan warna agar tidak mudah luntur dan membentuk koordinasi dengan pewarna untuk menempel pada kain, kadmium (Cd) diaplikasikan pada bahan alam, serat sintesis dan kulit, dan logam-logam tersebut dianggap sebagai karsinogen (Markandeya *et al.*

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

2022). Pada limbah lumpur yang masih mentah dari industri tekstil juga mengandung konsentrasi logam berat seperti Cu, Zn, Mn, Cr (X. Zhang *et al.* 2021), Cd, Pb dan Ni (Liang *et al.* 2013).

Industri tekstil merupakan industri yang paling banyak di Kabupaten Bandung, yaitu berjumlah 574 industri atau sebesar 54,46% dari total industri yang ada di Kabupaten Bandung (BPS Kabupaten Bandung, 2019). Beberapa kecamatan yang menjadi kawasan industri tekstil antara lain Kecamatan Rancaekek, Kecamatan Majalaya, Kecamatan Solokan Jeruk, Kecamatan Ibum, Kecamatan Pacet, Kecamatan Paseh, dan Kecamatan Dayeuhkolot.

Keberadaan industri tekstil pada area pertanian akan berdampak pada produk pertanian jika dalam pengolahan dan pembuangan limbah industri tidak dilakukan sesuai dengan ketentuan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Area persawahan di pusat pembongkaran limbah elektronik di Cina tercemar logam Cd dan Cu yang menyebabkan tingginya risiko ekologi (Chen *et al.* 2022). Air limbah industri tekstil yang digunakan untuk pengairan pada lahan pertanian dapat menyebabkan perubahan pH tanah, kondisi kimia tanah, dan aktivitas mikroba yang menurun karena ketidakmampuan mikroba dalam mengakses substrat (Roohi *et al.* 2016). Pada penelitian yang dilakukan pada tahun 2017 di lahan persawahan Desa Jelegong Kecamatan Rancaekek telah ditemukan konsentrasi logam berat Cr, As, Pb dan Cd akibat dari paparan limbah cair industri tekstil dengan nilai konsentrasi berturut-turut sebesar 0,06-174,7 mg kg<sup>-1</sup>, 0,28-4,0 mg kg<sup>-1</sup>, 0,05-11,7 mg kg<sup>-1</sup>, dan 0,02-0,17 mg kg<sup>-1</sup> (Komarawidjaja 2017).

Logam berat pada lahan persawahan akan berdampak pada beras hasil produksi yang dikonsumsi masyarakat sehingga akan berdampak pula terhadap kesehatan masyarakat. Paparan logam Cd dapat menyebabkan penyakit hipertensi (Kwon *et al.* 2022), paparan logam Cd pada ibu hamil juga dapat mempengaruhi berat dan panjang badan bayi, volume kepala serta dapat terjadi perubahan DNA (Young & Cai 2020), hal yang sama juga terjadi jika ibu hamil terpapar logam Pb (Endale *et al.* 2021). Kadmium dapat mengurangi massa tulang dan kepadatan kalsium tulang, dan menyebabkan kerusakan tulang, kanker tulang, osteoporosis (Suhani *et al.* 2021). Logam Cr dapat menyebabkan obesitas pada anak-anak dan remaja serta dapat menyebabkan berbagai penyakit kardiovaskuler (Nasab *et al.* 2022), hal tersebut juga dapat terjadi jika terpapar logam Ni (Yang *et al.* 2020).

Berdasarkan uraian di atas mengenai adanya kandungan logam berat pada lahan sawah yang dapat bersumber dari limbah industri tekstil dan akan berdampak pada kesehatan masyarakat maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui status dan pola distribusi logam berat serta kesehatan masyarakat yang terkait dengan paparan logam berat melalui saluran pencernaan dari tanah sawah di sekitar kawasan industri Kabupaten Bandung.

## Bahan dan Metode

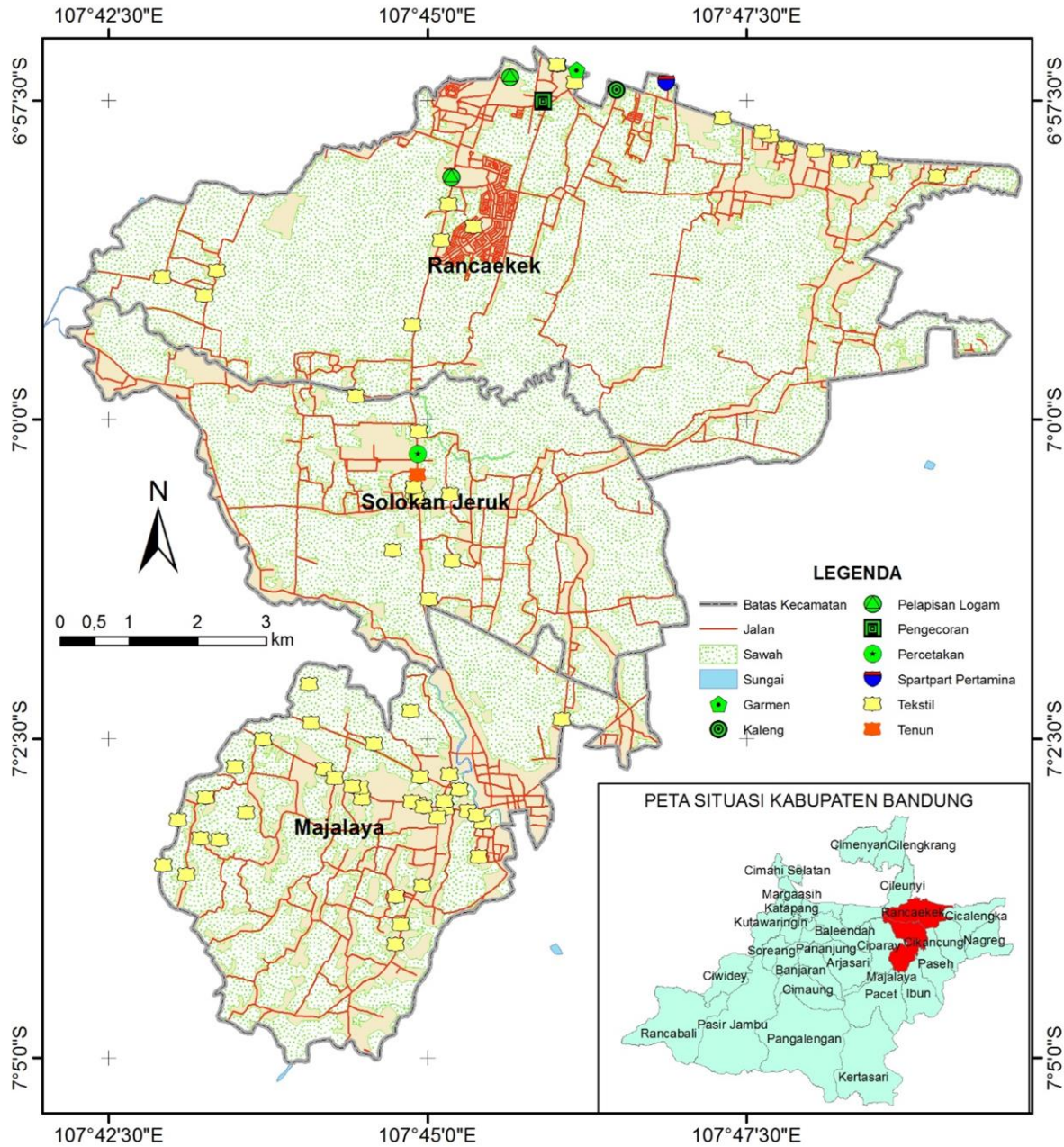
### Bahan

Bahan-bahan penelitian yang digunakan di laboratorium berupa bahan-bahan kimia untuk analisis kadar logam berat pada tanah. Beberapa jenis bahan kimia tersebut di antaranya adalah asam nitrat (HNO<sub>3</sub>), akuabides, asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), larutan standart Pb, Cd, Cr, dan Ni 1.000 ppm dan lain sebagainya.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi peralatan lapangan dan laboratorium. Peralatan lapangan antara lain berupa: GPS, bor tanah, plastik bening 2 kg dan 5 kg, tali rafia, spidol, solasi. Instrumen yang digunakan untuk karakterisasi contoh meliputi spektrofotometri serapan atom tipe Varian AA 240 FS.

### Diskripsi Lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada lahan sawah di tiga kecamatan di Kabupaten Bandung yang menjadi kawasan industri yaitu Kecamatan Rancaekek, Kecamatan Majalaya, dan Kecamatan Solokan Jeruk pada tahun 2018. Kecamatan Rancaekek, Kecamatan Majalaya, dan Kecamatan Solokan Jeruk terletak pada koordinat 107°42'30''-107°50'0'' Bujur Timur dan 7°5'0''-6°57'30'' Lintang Selatan. Jenis industri di ketiga kecamatan tersebut adalah industri tekstil, pelapisan logam, karpet, obat-obatan, kaleng, dan percetakan, dengan jenis industri yang dominan adalah industri tekstil. Luas panen di Kecamatan Rancaekek, Majalaya dan Solokan Jeruk berturut-turut yaitu sebesar 6.652 ha, 5.096 ha dan 4.630 ha (BPS 2019). Jumlah industri yang ada di Kecamatan Rancaekek, Majalaya dan Solokan Jeruk berturut-turut yaitu sebesar 80, 294, dan 188. Jenis industri tekstil di Kecamatan Rancaekek, Majalaya dan Solokan Jeruk berturut-turut sebesar 50%, 83,67%, dan 85,63% dari jenis industri yang ada pada masing-masing kecamatan tersebut. Beberapa industri yang ada di Kecamatan Rancaekek, Kecamatan Majalaya dan Kecamatan Solokan Jeruk dapat dilihat pada Gambar 1.

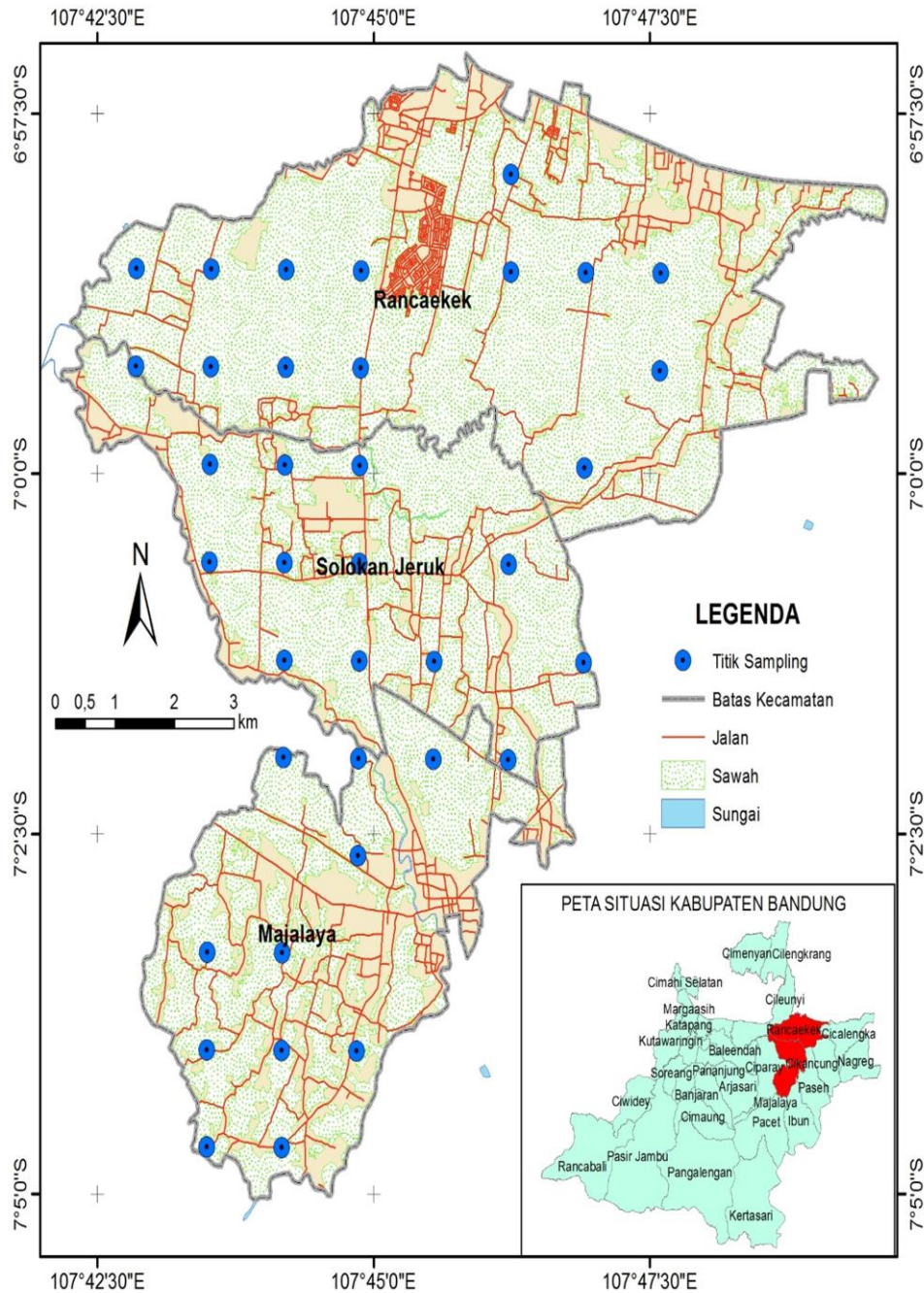


Gambar 1. Peta lokasi industri di Kec. Majalaya, Rancaekek, Solokan Jeruk  
 Figure 1. Map of industrial locations in Kec. Majalaya, Rancaekek, Solokan Jeruk

**Teknik pengambilan dan analisis contoh tanah**

Penentuan titik pengambilan contoh tanah dilakukan dengan metode *grid* pada satuan (unit) lahan pada peta penggunaan lahan. Pengambilan contoh tanah dilakukan dengan metode survei pada 37 titik lokasi dengan rincian sebagai berikut: Kecamatan Rancaekek 14 titik lokasi, Kecamatan Majalaya 11 titik lokasi, dan Kecamatan Solokan Jeruk 12 titik lokasi. Titik lokasi pengambilan contoh tanah dapat dilihat pada Gambar 2. 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, Cr, dan Ni. Contoh tanah hasil survei lapangan yang diambil pada kedalaman yaitu 0-20 cm. Selanjutnya contoh tanah tersebut dianalisis kandungan logam berat totalnya di Laboratorium Terpadu Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Badan Litbang Kementerian Pertanian. Metode analisis logam berat pada contoh tanah dilakukan dengan ekstrak  $HNO_3:HClO_4$  dan diukur menggunakan *Atomic Absorbption Spectrophotometer* (AAS) yang mengacu pada Eviati & Sulaeman (2009) dan Sisay *et al.* (2019) dengan modifikasi pada volume contoh



Gambar 2. Peta titik sampling di lahan sawah sekitar kawasan industri  
 Figure 2. Map of sampling points in paddy fields around industrial areas

yang dianalisis, volume pemberian larutan asam nitrat pekat dan tahapan destruksi. Data hasil analisis logam berat Pb, Cd, Cr, dan Ni pada tanah dibandingkan dengan batas kritis logam berat yang ditetapkan oleh Alloway (1995).

**Analisis spasial dan analisis statistik**

Spasial analisis digunakan untuk melihat pola distribusi logam berat pada lahan pertanian kawasan industri yang ditunjukkan pada peta sebaran. Analisis statistik yang digunakan antara lain ANOVA, uji korelasi

dan uji multivariat dengan menggunakan *software* SPSS. Uji ANOVA dilakukan untuk membandingkan nilai logam berat pada masing-masing kecamatan. Uji korelasi dilakukan untuk mengetahui korelasi antar logam berat pada tanah. Analisis multivariat yang digunakan adalah model *principal component analysis* (PCA) dan *hierarchical cluster analysis* (HCA), model ini digunakan untuk mengetahui kesamaan dan perbedaan karakteristik nilai konsentrasi semua logam berat yang diamati antar lokasi pengambilan contoh tanah. Analisis multivariat dilakukan dengan menggunakan *software* SPSS.

### Indeks Geoakumulasi/Geoaccumulation index ( $I_{geo}$ )

Nilai indeks geoakumulasi ini dapat untuk menunjukkan tingkat akumulasi logam berat yang berasal dari sumber antropogenik pada permukaan tanah. Nilai indeks geoakumulasi dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{geo} = \text{Log}_2 \frac{C(\text{sample})}{1.5 \times C(\text{background})} \dots\dots\dots (1)$$

$C(\text{sample})$  merupakan nilai konsentrasi logam berat yang terukur pada tanah, dan  $C(\text{background})$  merupakan nilai konsentrasi logam berat yang secara alami telah ada di kerak bumi yang merupakan nilai sebelum adanya berbagai aktivitas manusia yang dapat menghasilkan logam berat untuk mencemari tanah. Nilai indeks geoakumulasi dapat dikategorikan menjadi tujuh kategori yaitu (i) tidak terkontaminasi = 0, (ii) tidak tercemar sampai tercemar sedang = 0-1, (iii) terkontaminasi sedang = 1-2, (iv) terkontaminasi sedang hingga berat = 2-3, (v) terkontaminasi berat = 3-4, (vi) terkontaminasi berat hingga ekstrim = 4-5, (vii) terkontaminasi ekstrim > 5 (Mandal *et al.* 2022).

### Analisis Risiko Kesehatan

Untuk memahami kemungkinan efek berbahaya bagi kesehatan manusia, rata-rata asupan harian (ADI) dari paparan logam berat melalui saluran pencernaan dari tanah dievaluasi menggunakan persamaan yang dimodifikasi oleh *United States Environmental Protection Agency* (2001).

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

$$ADI_{\text{dewasa}} = \frac{C \times IR_{\text{dewasa}}}{BW_{\text{dewasa}}} \dots\dots\dots (3)$$

$ADI_{\text{anak-anak}}$  dan  $ADI_{\text{dewasa}}$  adalah asupan harian ( $\text{mg kg}^{-1} \text{ hari}^{-1}$ ) untuk anak dan dewasa,  $C$  adalah kandungan logam berat dalam tanah ( $\text{mg kg}^{-1}$ ),  $IR$  adalah tingkat konsumsi tanah melalui proses tertelan ( $\text{kg hari}^{-1}$ ), dan  $BW$  adalah berat badan ( $\text{kg}$ ). 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 dari proses tertelan paparan logam berat melalui saluran pencernaan dari tanah dan baru-baru ini digunakan pada penelitian mengenai resiko kesehatan di daerah pedesaan Jepang barat (Nakagawa *et al.*, 2022). Nilai *Average Daily Intake* (ADI) dibandingkan dengan nilai *Provisional Tolerable Weekly Intake* yang ditetapkan oleh *FAO/WHO* (Naseri *et al.*, 2014).

## Hasil dan Pembahasan

### Logam berat pada contoh tanah

Logam berat Pb, Cd, Cr dan Ni pada lahan pertanian di sekitar kawasan industri Kabupaten Bandung terdeteksi pada semua lokasi pengambilan contoh tanah. Logam Pb, Cd, Cr dan Ni berturut-turut berkisar antara 13,78-34,32  $\text{mg kg}^{-1}$ , 0,53-3,17  $\text{mg kg}^{-1}$ , 6,09-21,66  $\text{mg kg}^{-1}$  dan 6,78-17,33  $\text{mg kg}^{-1}$ . Berdasarkan nilai rata-rata logam berat dalam tanah, maka konsentrasi nilai logam tertinggi sampai terendah yaitu Pb (21,67  $\text{mg kg}^{-1}$ ), Cr (12,83  $\text{mg kg}^{-1}$ ), Ni (11,31  $\text{mg kg}^{-1}$ ), Cd (1,95  $\text{mg kg}^{-1}$ ). Logam Cd berkisar antara 0,53 – 3,17  $\text{mg kg}^{-1}$  menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cd telah melebihi batas kritis (3  $\text{mg kg}^{-1}$ ) untuk di beberapa lokasi saja karena untuk nilai rata-ratanya masih di bawah batas kritis yaitu hanya sebesar 1,95  $\text{mg kg}^{-1}$ . Deskripsi statistik logam berat pada tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat kimia tanah, biochar, dan Pukan yang digunakan dalam penelitian ini

Table 1. Chemical characteristic of soil, biochar, and manure which used in this study

Statistik	Pb	Cd	Cr	Ni
	mg kg <sup>-1</sup>			
Mean	21,67	1,95	12,83	11,31
Standard Error	0,83	0,09	0,51	0,49
Median	19,40	1,98	12,51	10,77
Mode	18,57	2,06	11,18	9,20
Standard Deviation	5,05	0,54	3,13	2,98
Sample Variance	25,47	0,29	9,78	8,89
Kurtosis	-0,35	0,99	1,57	-1,04
Skewness	0,73	0,08	0,73	0,35
Range	20,54	2,64	15,57	10,55
Minimum	13,78	0,53	6,09	6,78
Maximum	34,32	3,17	21,66	17,33
Sum	801,66	72,20	474,85	418,36
Count	37,00	37,00	37,00	37,00
Confidence Level (95.0%)	1,68	0,18	1,04	0,99
CV (%)	23,29	27,43	24,37	26,36
Batas kritis (Alloway, 1995)	100-400	3-8	75-100	100

Distribusi dan variasi spasial logam berat di lahan pertanian di sekitar kawasan industri Kabupaten Bandung secara tidak langsung dihitung dengan nilai koefisien keragaman (CV). Nilai CV logam Pb, Cd, Cr, dan Ni berturut turut sebesar 23,29%, 27,43%, 24,37% dan 26,36%. Nilai CV untuk semua logam menunjukkan nilai

<50%, hal tersebut menunjukkan kategori variabilitas sedang dan menunjukkan distribusi logam berat di tanah memiliki nilai yang relatif seragam. Nilai CV >50% menunjukkan variabilitas yang lebih luas dengan nilai logam berat yang lebih fluktuatif sehingga menunjukkan adanya pengaruh kegiatan antropogenik yang tinggi terhadap status logam berat pada lahan pertanian (Jiang *et al.* 2019). Koefisien kemiringan logam Pb, Cd, Cr, dan Ni menunjukkan nilai yang positif di wilayah studi. Hal ini menunjukkan bahwa tidak adanya perbedaan nilai konsentrasi logam berat yang fluktuatif sehingga kemungkinan adanya aktivitas antropogenik yang dilakukan tidak begitu berpengaruh terhadap kandungan logam berat pada lahan pertanian di sekitar kawasan industri Kabupaten Bandung.

Nilai rata-rata konsentrasi logam berat pada masing-masing kecamatan dapat dilihat pada Tabel 2. Pada logam Pb dan Ni nilai rata-rata tertinggi pada kecamatan Majalaya yaitu masing-masing sebesar 22,56 mg kg<sup>-1</sup> dan 12,16 mg kg<sup>-1</sup>. Nilai rata-rata logam Cd tertinggi pada Kecamatan Solokan Jeruk (2,24 mg kg<sup>-1</sup>) dan nilai rata-rata logam Cr pada Kecamatan Rancaekek (13,97 mg kg<sup>-1</sup>). Nilai P menunjukkan nilai signifikansi logam antar kecamatan. Berdasarkan hasil uji ANOVA nilai P pada logam Pb, Cd, Cr dan Ni berturut-turut adalah 0.680, 0.073, 0.211 dan 0.469, hal tersebut menunjukkan hasil nilai p>0.05 untuk semua logam sehingga dapat dinyatakan bahwa nilai logam Pb, Cd, Cr dan Ni pada semua kecamatan tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Pada tingkat kepercayaan 90% nilai signifikansi logam Cd menunjukkan nilai p<0.10 yaitu sebesar 0.073, hal tersebut menunjukkan jika logam Cd memiliki perbedaan nilai antar kecamatan.

Distribusi spasial dari logam Pb, Cd, Cr, dan Ni di tanah pertanian sekitar kawasan industri Kabupaten Bandung disajikan pada Gambar 3. Pola sebaran logam berat pada lahan pertanian tampak menyebar dan tidak ada pengelompokan pada konsentrasi tertentu. Logam Pb sebaran dominan pada konsentrasi 17,5 – 20 mg kg<sup>-1</sup>, logam Cd sebaran dominan pada konsentrasi 1,3-1,6 mg kg<sup>-1</sup>, logam Cr sebaran dominan pada konsentrasi 9,2-10,9 mg kg<sup>-1</sup> dan untuk logam Ni pola sebarannya hampir sama nilainya untuk semua konsentrasi. Berdasarkan hasil ANOVA dengan tingkat kepercayaan 90% yang menunjukkan nilai berbeda antar kecamatan, maka dapat dilihat pola sebaran logam Cd pada Gambar 3. Untuk Kecamatan Rancaekek dominan berwarna hijau yang menunjukkan nilai kategori rendah, Kecamatan Majalaya dominan warna oranye hingga kuning yang masuk pada

kategori nilai tinggi hingga sedang, sedangkan Kecamatan Solokan Jeruk warnanya lebih bervariasi.

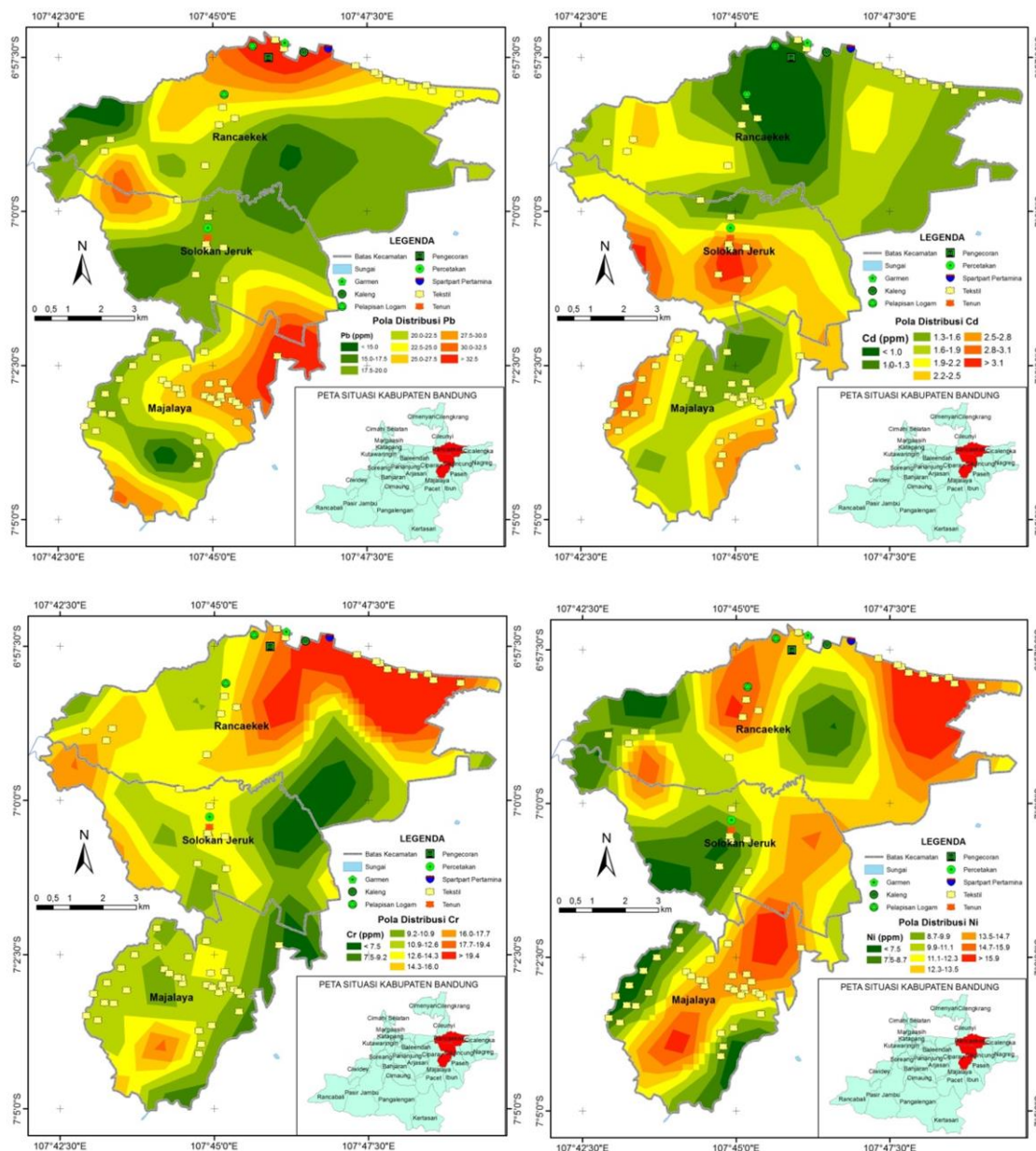
Tabel 2. Konsentrasi logam berat pada lahan pertanian di Kecamatan Majalaya, Kecamatan Rancaekek dan Kecamatan Solokan Jeruk

Table 2. Heavy metal concentrations in agricultural land in Majalaya, Rancaekek and Solokan Jeruk sub-districts

Logam berat	Nama Kecamatan	Mean (mg kg <sup>-1</sup> )	Std. Deviation	Nilai P
Pb	Majalaya	22,57	5,00	0,680
	Rancaekek	20,78	4,80	
	Solokan Jeruk	21,88	5,62	
Cd	Majalaya	1,85	0,46	0,073
	Rancaekek	1,78	0,43	
	Solokan Jeruk	2,24	0,62	
Cr	Majalaya	12,41	2,35	0,211
	Rancaekek	13,97	3,61	
	Solokan Jeruk	11,90	2,97	
Ni	Majalaya	12,16	3,28	0,469
	Rancaekek	11,23	3,19	
	Solokan Jeruk	10,61	2,45	

**Analisis Korelasi**

Nilai korelasi antar logam berat pada tanah yang menunjukkan nilai signifikan adalah korelasi antara logam berat Pb dan Ni serta Cd dan Ni. Korelasi logam Pb dan Ni bersifat positif dan sangat kuat, sedangkan korelasi logam Cd dan Ni bersifat negatif dan cukup kuat. Menurut (Baltas *et al.* 2020), jika korelasi antara logam berat adalah positif yang kuat, kemungkinan logam tersebut memiliki sumber yang sama dan rute transportasi yang sama. Korelasi positif yang kuat pada logam Pb dan Ni menunjukkan bahwa kemungkinan logam tersebut berasal dari sumber yang sama. Korelasi negatif pada logam Cd dan Ni menunjukkan kemungkinan adanya ketergantungan yang rendah pada penyerapan logam dan mobilitas logam yang tinggi (Kong *et al.* 2021). Hubungan antar logam pada suatu lokasi menunjukkan adanya sumber yang sama atau perilaku yang sama selama transformasi (Cheng *et al.* 2015). Nilai Korelasi antar logam berat pada tanah dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 3. Distribusi spasial logam berat di lahan sawah sekita kawasan industri

Figure 3. Spatial distribution of heavy metals in paddy fields around industrial areas

Tabel 3. Korelasi antar logam berat pada tanah

Table 3. Correlation between heavy metals in soil

		Pb	Cd	Cr	Ni
Pb	Pearson Correlation	1	-0,196	-0,308	0,631**
	Sig. (2-tailed)		0,246	0,064	0,000
	N	37	37	37	37
Cd	Pearson Correlation	-0,196	1	,067	-0,400*
	Sig. (2-tailed)	0,246		,695	0,014
	N	37	37	37	37
Cr	Pearson Correlation	-0,308	0,067	1	-0,278
	Sig. (2-tailed)	0,064	0,695		0,096
	N	37	37	37	37
Ni	Pearson Correlation	0,631**	-0,400*	-0,278	1
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,014	0,096	
	N	37	37	37	37

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**Analisis Multivariat**

Hasil *principal component analysis* (PCA) ditunjukkan pada Tabel 4. Jumlah total komponen (faktor umum) di PCA ditentukan berdasarkan komponen dengan nilai *eigen* lebih besar dari 1. Hanya ada satu komponen utama dapat dipertahankan dengan nilai *eigen* 2,005 dan mampu menjelaskan 50,115% varians. Pada komponen 1 nilai logam yang nilainya positif adalah Pb dan Ni sedangkan nilai negatif adalah Cd dan Cr. Nilai untuk Pb dan Ni masing-masing sebesar 0,817 dan 0,875, kedua nilai logam lebih besar dari 0,5. Hal tersebut menunjukkan bahwa komponen kedua logam tersebut layak merangkul distribusi spasial dari keempat logam yang dianalisis dan komponen tersebut berhubungan dengan sumber antropogenik yang sama (Jaskuła & Sojka 2022). Nilai negatif pada logam Cd dan Cr menunjukkan kontribusi yang kurang pada distribusi spasial dari keempat logam yang dianalisis (Hu *et al.* 2022).

Kesamaan dan perbedaan karakteristik nilai konsentrasi semua logam berat yang diamati antar lokasi pengambilan contoh tanah dapat dilihat pada hasil *hierarchical cluster analysis* (HCA) Gambar 4. Kesamaan karakter untuk semua logam di masing-masing titik pengambilan contoh tidak ada yang menonjol karena tidak ada kesamaan karakter pada satu kecamatan tertentu. Pada Gambar 1 terlihat proses/tahapan dalam pembentukan *cluster*, mulai dari dari tahap awal, di level paling kiri, dengan jumlah *cluster* yang cukup banyak sampai dengan level paling kanan yang akhirnya menjadi 2 *cluster*. Pada tahap awal pembentukan *cluster* telah terjadi kesamaan karakter pada berbagai titik di kecamatan yang berbeda dan pada tahap akhir terbentuk 2 *cluster* dengan anggota yang cukup banyak dari masing-masing tersebut menunjukkan bahwa karakter dari nilai logam berat Pb, Cd, Cr dan Ni pada Kecamatan Majalaya, Kecamatan Rancaekek dan Kecamatan Solokan Jeruk di Kabupaten

Bandung yang hampir seragam.

**Geoaccumulation index ( $I_{geo}$ )**

Nilai rata-rata  $I_{geo}$  secara berurutan adalah Cd (2,88) > Pb (-0,53) > Ni (-1,15) > Cr (-1,87). Nilai rata-rata  $I_{geo}$  pada logam Pb, Cr, dan Ni kurang dari 0 berarti lahan pertanian tidak tercemar logam berat tersebut, sedangkan untuk nilai rata-rata  $I_{geo}$  pada logam Cd lebih dari 0 (1,62-3,41) termasuk pada kategori tercemar sedang hingga berat. Nilai indeks *geo-accumulation* masing-masing logam dapat dilihat pada Gambar 5.

Persentase dari kategori nilai  $I_{geo}$  dapat dilihat pada Tabel 5. Nilai  $I_{geo}$  untuk logam berat Pb, Cr, dan Ni sebesar 100% berada pada kategori yang tidak tercemar sedangkan untuk nilai  $I_{geo}$  pada logam Cd termasuk pada 2 kategori yaitu tercemar sedang hingga berat dan tercemar berat. Persentase logam Cd kategori sedang hingga berat pada Kecamatan Majalaya, Kecamatan Rancaekek dan Kecamatan Solokan Jeruk berturut-turut adalah 63,64%, 92,86% dan 41,67%, sedangkan untuk kategori berat berturut-turut adalah 36,36%, 7,14% dan 58,33%. Pada Kecamatan Majalaya dan Kecamatan Rancaekek persentase  $I_{geo}$  logam Cd pada kategori tercemar sedang hingga berat lebih besar dari kategori berat, sedangkan pada Kecamatan Solokan Jeruk persentase  $I_{geo}$  logam Cd pada kategori berat lebih besar dari kategori sedang hingga berat.

Logam Cd pada lahan pertanian dapat disebabkan oleh aplikasi bahan agrokimia secara terus menerus (Fei *et al.* 2022), misal pupuk fosfat (Wielgusz *et al.* 2022). Peningkatan konsentrasi Cd dapat bersumber pada aktivitas pertambangan dan lalu lintas jalan terutama pada lahan pertanian dataran rendah (Y. Zhang *et al.* 2022), dan dari limbah industri. Pada lahan sawah di hilir daerah irigasi Zhangshi, Shenyang China yang tercemar logam Cd hanya sebesar 0,51% bersumber dari pupuk dan pestisida,

Tabel 4. Hasil analisis principal component analysis (PCA)

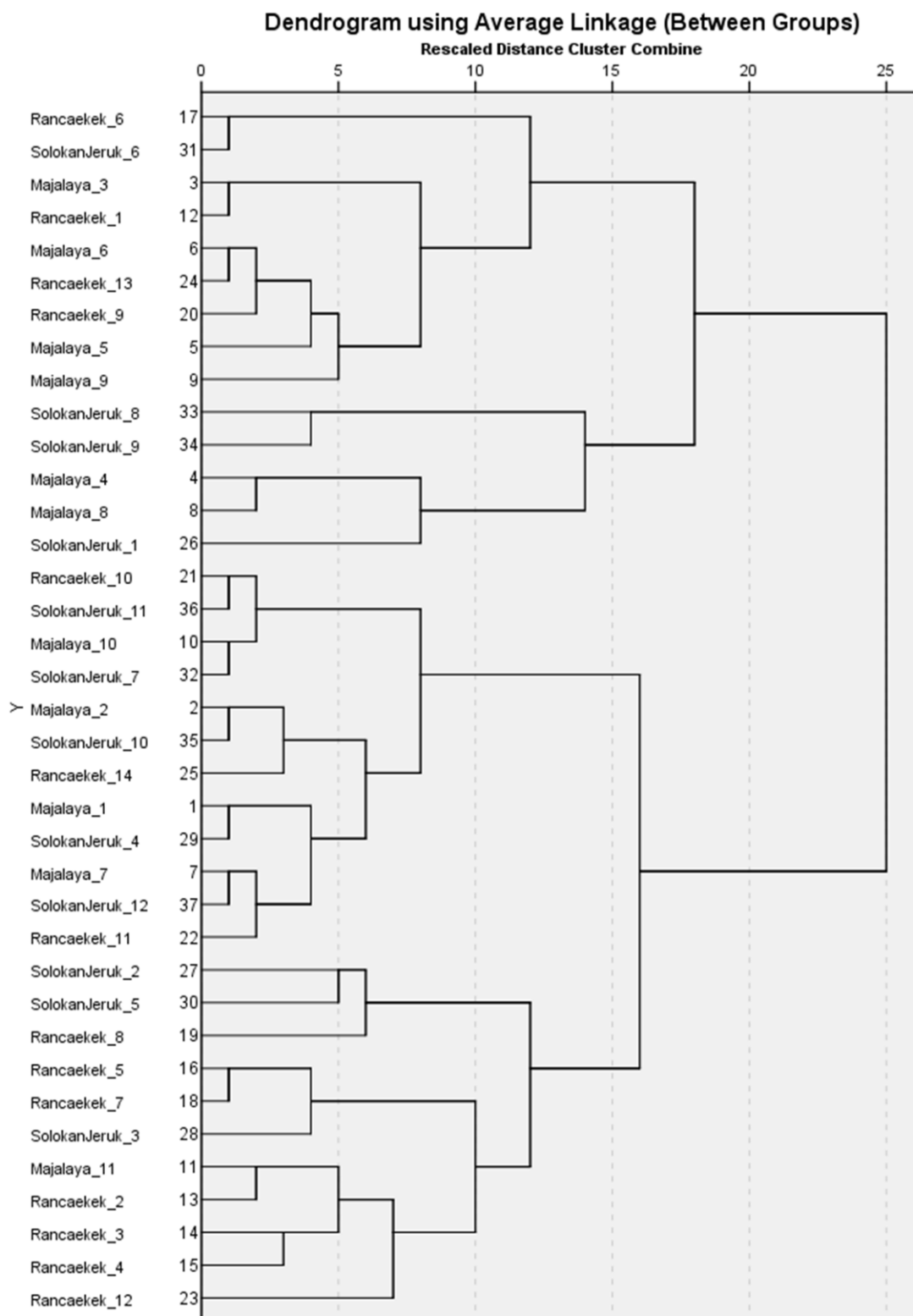
Table 4. Results of principal component analysis (PCA)

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		Pb	Cd	Cr	Ni
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance				
1	2,005	50,115	50,115	2,005	50,115	0,817	-0,542	-0,528	0,875
2	0,957	23,923	74,038						
3	0,708	17,710	91,748						
4	0,330	8,252	100,000						



sebesar 56,95% bersumber dari air irigasi yang tercemar oleh limbah industri (Fu *et al.* 2021). Hal tersebut menunjukkan bahwa sumber utama cemaran logam Cd di

lahan sawah tersebut berasal dari air irigasi yang tercemar limbah industri, sedangkan sumber pupuk dan pestisida sangat kecil persentasenya.



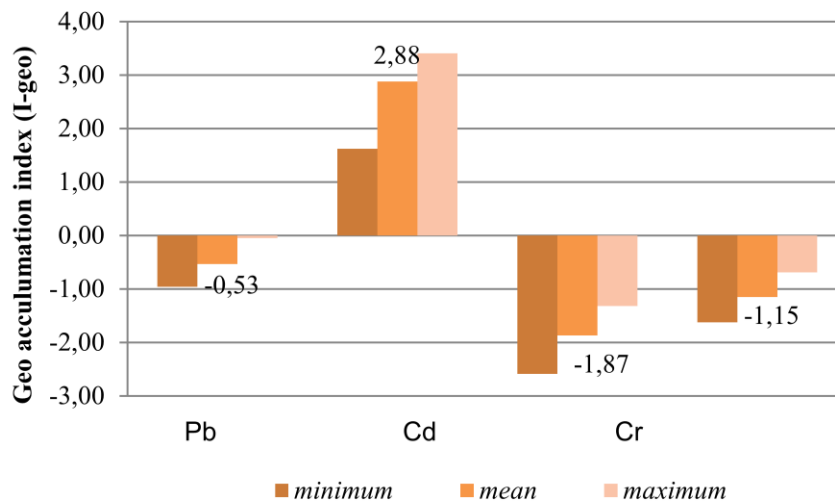
Gambar 4. Denogram hierarchical cluster analysis dari logam berat tanah di study area

Figure 4. Denogram hierarchical cluster analysis of heavy metals in the soil in the study area

Tabel 5. Persentase nilai indeks geo-akumulasi (I-geo)

Table 5. Percentage of geo-accumulation index values (I-geo)

Kecamatan	Logam berat	tidak tercemar	tidak tercemar-sedang	sedang	sedang-berat	berat	berat-ekstrim	ekstrim
Majalaya	Pb	100	0	0	0	0	0	0
	Cd	0	0	0	63,64	36,36	0	0
	Cr	100	0	0	0	0	0	0
	Ni	100	0	0	0	0	0	0
Rancaekek	Pb	100	0	0	0	0	0	0
	Cd	0	0	0	92,86	7,14	0	0
	Cr	100	0	0	0	0	0	0
	Ni	100	0	0	0	0	0	0
Solokan Jeruk	Pb	100	0	0	0	0	0	0
	Cd	0	0	0	41,67	58,33	0	0
	Cr	100	0	0	0	0	0	0
	Ni	100	0	0	0	0	0	0



Gambar 5. Nilai indeks geo-akumulasi (I-geo)

Figure 5. Geo-accumulation index value (I-geo)

Tabel 6. Pengaruh Rata-rata asupan harian (ADI) dan rata-rata asupan mingguan (AWI) logam berat pada anak-anak dan orang dewasa

Table 6. Average Daily Intake (ADI) and Average Weekly Intake (AWI) of heavy metals in children and adults

Logam berat	ADI (anak-anak)	ADI (dewasa)	AWI (anak-anak)	AWI (dewasa)	Toleransi sementara asupan mingguan
	mg kg <sup>-1</sup> hari <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup> minggu <sup>-1</sup>		
Pb	0,1883	0,0311	1,3179	0,2176	0,0250
Cd	0,0210	0,0035	0,1467	0,0242	0,0070
Cr	0,1220	0,0201	0,8542	0,1410	0,0233
Ni	0,1052	0,0174	0,7361	0,1215	0,0350

## Analisis Resiko 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  $Pb > Cr > Ni > Cd$ . Besaran asupan rata-rata harian dan mingguan paparan logam berat melalui saluran pencernaan dari tanah di lahan pertanian dapat dilihat pada Tabel 6.

Nilai asupan rata-rata mingguan logam Pb, Cd, Cr dan Ni pada anak-anak dan orang dewasa telah melebihi batas toleransi sementara asupan mingguan yang ditetapkan FAO/WHO. Batas toleransi sementara asupan mingguan logam Pb, Cd, Cr dan Ni berturut-turut sebesar  $0,0250 \text{ mg kg}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$ ,  $0,0070 \text{ mg kg}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$ ,  $0,0233 \text{ mg kg}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$  dan  $0,0350 \text{ mg kg}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$ . Anak-anak memiliki asupan rata-rata mingguan yang sangat tinggi untuk semua logam jika dibandingkan dengan batas toleransi sementara asupan mingguan. Asupan rata-rata mingguan logam Pb pada anak-anak paling besar di antara logam lainnya yaitu 52 kali lipat dari batas toleransi sementara asupan mingguan. Tingginya nilai asupan rata-rata harian baik pada anak-anak dapat menjadi kewaspadaan bagi masyarakat sekitar agar anak-anak tidak sering berinteraksi dengan lahan sawah karena akan meningkatkan potensi paparan logam berat melalui saluran pencernaan dari tanah dan akan berdampak terhadap kesehatan. Paparan logam Pb pada anak-anak dapat menyebabkan anak menjadi hiperaktif dan impulsif (Lin *et al.* 2019) dan efek jangka panjang saat dewasa dapat menyebabkan penyakit kardiovaskular, kerusakan ginjal, gangguan kognitif, defisiensi imunologi, gangguan reproduksi, kanker, dll (ASTDR 2020).

## Kesimpulan

Lahan sawah di sekitar kawasan industri Kabupaten Bandung terdeteksi mengandung logam berat Pb, Cd, Cr dan Ni dengan konsentrasi masih di bawah batas kritis. Karakter dari nilai logam berat Pb, Cd, Cr dan Ni pada Kecamatan Majalaya, Rancaekek dan Solokan Jeruk di Kabupaten Bandung hampir seragam sehingga pola distribusi logam beratnya menyebar dan tidak berkelompok. Nilai logam Cd terdeteksi akibat peningkatan konsentrasi yang bersumber dari aktivitas antropogenik. Risiko kesehatan pada anak-anak lebih besar daripada orang dewasa dengan nilai rata-rata asupan mingguan paparan logam berat melalui saluran pencernaan dari tanah yang tertelan oleh anak-anak dan orang dewasa telah melebihi batas toleransi yang ditetapkan FAO/WHO untuk

logam Pb, Cd, Cr dan Ni berturut-turut sebesar  $0,0250$ ;  $0,0070$ ;  $0,0233$ ; dan  $0,0350 \text{ mg kg}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$ .

## Daftar Pustaka

- Alloway B J. 1995. Heavy metal in soils. Blackie Academic and Profesional.
- Anaman R, Peng C, Jiang Z, Liu X, Zhou Z, Guo Z, & Xiao X. 2022. Science of the Total Environment Identifying sources and transport routes of heavy metals in soil with different land uses around a smelting site by GIS based PCA and PMF. 823.
- ASTDR, 2020. Toxicological profile for lead. U. S. Department of Health Human Services. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/95222>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125015>.
- BPS Kabupaten Bandung. 2019. Kabupaten Bandung dalam Angka 2019. Badan Pusat Statistik Kabupaten Bandung
- Chen H, Wang L, Hu B, Xu J, Liu X. 2022. Potential driving forces and probabilistic health risks of heavy metal accumulation in the soils from an e-waste area, southeast China. Chemosphere, 289 (September 2021), 133182. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133182>
- Cheng Q, Wang R, Huang W, Wang W, Li X. 2015. Assessment of heavy metal contamination in the sediments from the Yellow River Wetland National Nature Reserve (the Sanmenxia section), China. Environmental Science and Pollution Research, 22(11), 8586–8593. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-4041-y>
- Endale Y T, Ambelu A, Sahilu G G, Mees B, Laing G Du. 2021. Exposure and health risk assessment from consumption of Pb contaminated water in Addis Ababa, Ethiopia. Heliyon, 7(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07946>
- Eviati, Sulaeman. 2009. Petunjuk Teknis Edisi 2 Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk (2nd ed.). Balai Penelitian Tanah.
- FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. 1995. General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (CODEX STAN 193–1995. Revised in 1997, 2008, 2009, and amended in 2010, 2012, 2013, 2014, 2015 (Ed.)F
- Fei X, Lou Z, Xiao R, Ren Z, Lv X. 2022. Source analysis and source-oriented risk assessment of heavy metal pollution in agricultural soils of different cultivated land qualities. Journal of Cleaner Production, 341(December 2021).

- Fu Y, Li F, Guo S, Zhao M. 2021. Cadmium concentration and its typical input and output fluxes in agricultural soil downstream of a heavy metal sewage irrigation area. *Journal of Hazardous Materials*, 412 (October 2020), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125203>
- Hu R, Wang Y, Zhang X, Zhu L, Luo M, Liu B, & Yuan X. 2022. Sources and factors controlling the distribution of heavy metals in coastal sediments of Haiyang, China. *Marine Pollution Bulletin*, 175 (September 2021). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113152>
- Jaskuła J, Sojka M. 2022. Assessment of spatial distribution of sediment contamination with heavy metals in the two biggest rivers in Poland. *Catena*, 211 (December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105959>
- Ji Y, Xu J, Zhu L. 2021. Impact of a super typhoon on heavy metal distribution, migration, availability in agricultural soils. *Environmental Pollution*, 289 (June). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117835>
- 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). In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 26, Issue 16, pp. 16556–16567). <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04997-3>
- Komarawidjaja W. 2017. Paparan limbah cair industri mengandung logam berat pada lahan sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 173. <https://doi.org/10.29122/jtl.v18i2.2047>
- Kong M, Zhu Y, Han T, Zhang S, Li J, Xu X, Chao J, Zhang Y, Gao Y. 2021. Interactions of heavy metal elements across sediment-water interface in Lake Jiaogang. *Environmental Pollution*, 286(June). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117578>
- Kwon J A, Park E, Kim S, Kim B. 2022. Influence of serum ferritin combined with blood cadmium concentrations on blood pressure and hypertension: From the Korean National Health and Nutrition Examination Survey. *Chemosphere*, 288(March 2021). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132469>
- Liang X, Ning X. an Chen G, Lin M, Liu J, Wang Y. 2013. Concentrations and speciation of heavy metals in sludge from nine textile dyeing plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.012>
- Lin Y, Huang L, Xu J, Specht A J, Yan C, Geng H, Shen X, Nie L H, Hu H. 2019. Science of the Total Environment Blood lead , bone lead and child attention-de fi cit-hyperactivity-disorder- like behavior. 659(1665), 161–167.
- Luo H, Wang Q, Guan Q, Ma Y, Ni F, Yang E, Zhang J. 2022. Heavy metal pollution levels, source apportionment and risk assessment in dust storms in key cities in Northwest China. *Journal of Hazardous Materials*, 422 (August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126878>
- Mandal S, Bhattacharya S, Paul S. 2022. Assessing the level of contamination of metals in surface soils at thermal power area: Evidence from developing country (India). 4, 37–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2021.11.003>
- Markandeya, Mohan D, Prasad S. 2022. Hazardous consequences of textile mill effluents on soil and their remediation approaches. *Cleaner Engineering and Technology*, 7(October 2021).
- 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(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133316>
- Nargis A, Habib A, Islam N, Chen K, Sarker S I, Liu W, Liu G, Cai M. 2022. Source identification , contamination status and health risk assessment of heavy metals from road dusts in Dhaka , Bangladesh. 121, 159–174.
- 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 (December 2021). <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. 4, 65–72.
- Panhwar A, Faryal K, Kandhro A, Bhutto S, Rashid U, Jalbani N, Sultana R, Solangi A, Ahmed M, Qaisar S, Solangi Z, Gorar M, Sargani E. 2022. Utilization of treated industrial wastewater and accumulation of heavy metals in soil and okra vegetable. *Environmental Challenges*, 6 (January). <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100447>
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Diakses pada tanggal 3 April 2022 dari [http://jdih.menlhk.co.id/uploads/files/2021pmlhk006\\_menlhk\\_06082021104752.pdf](http://jdih.menlhk.co.id/uploads/files/2021pmlhk006_menlhk_06082021104752.pdf)
- Roohi M, Riaz M, Arif M S, Shahzad S M, Yasmeen T, Riaz M A, Tahir S, Mahmood K. 2016. Varied effects of untreated textile wastewater onto soil carbon mineralization and associated biochemical properties of a dryland agricultural soil. *Journal of Environmental Management*, 183, 530–540. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.005>

- 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>
- Suhani I, Sahab S, Srivastava V, & Singh R P. 2021. Impact of cadmium pollution on food safety and human health. *Current Opinion in Toxicology*, 27, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.04.004>
- Swarnkumar Reddy, Osborne W J. 2020. Heavy metal determination and aquatic toxicity evaluation of textile dyes and effluents using *Artemia salina*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 25 (March). <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101574>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153078>
- Wielgusz K, Praczyk M, Irzykowska L, Świerk D. 2022. Fertilization and soil pH affect seed and biomass yield, plant morphology, and cadmium uptake in hemp (*Cannabis sativa* L.). *Industrial Crops and Products*, 175(July 2021). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114245>
- Yang A M, Lo K, Zheng T Z, Yang J L, Bai Y N, Feng Y Q, Cheng N, Liu S M. 2020. Environmental heavy metals and cardiovascular diseases: Status and future direction. *Chronic Diseases and Translational Medicine*, 6(4), 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2020.02.005>
- Young J L, Cai L. 2020. Implications for prenatal cadmium exposure and adverse health outcomes in adulthood. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 403(May). <https://doi.org/10.1016/j.taap.2020.115161>
- Zhang X, Zhou J, Xu Z, Zhu P, Liu J. 2021. Characterization of heavy metals in textile sludge with hydrothermal carbonization treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 402(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123635>
- Zhang Y, Wu Y, Song B, Zhou L, Wang F, Pang R. 2022. Spatial distribution and main controlling factor of cadmium accumulation in agricultural soils in Guizhou, China. *Journal of Hazardous Materials*, 424 (September 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127308>