© 2026 Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP
JURNAL ILMU LINGKUNGAN
Volume 24 Issue 6 (2026) : 1507-1519 *ISSN 1829-8907*

Risiko Ekologi dan Kesehatan Akibat Cemaran Logam Berat pada Pertanian Perkotaan: Tinjauan Sistematis

Diana Yudi Lestari Serangmo[1,2,*], Philiphi de Rozari[1], Yantus Neolaka[1], dan Antonius R.B Ola[1]

[1]Program Doktor Ilmu Lingkungan, Universitas Nusa Cendana, Indonesia; e-mail: dserangmo@staf.undana.ac.id
[2]Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Nusa Cendana, Indonesia

ABSTRAK

Kontaminasi logam berat pada lahan pertanian perkotaan (*urban farming*) menjadi isu global yang berkaitan dengan ketahanan pangan dan kesehatan masyarakat, seiring pesatnya urbanisasi dan industrialisasi. Tinjauan ini bertujuan memetakan pendekatan penilaian risiko ekologi dan kesehatan akibat cemaran logam berat pada pertanian perkotaan, meliputi varian penilaian, strategi penilaian yang paling komprehensif, dan kendala yang dihadapi. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) mengikuti PRISMA 2020 terhadap 41 studi yang terbit pada periode 2015–2025, dengan ekstraksi data terstruktur dan sintesis naratif-tematik. Cr, Cd, Pb, Ni, dan As merupakan logam yang paling sering dilaporkan melebihi batas aman pada tanah dan sayuran, meskipun besarannya bergantung pada lokasi, media, dan standar acuan yang digunakan setiap studi. Sumber yang paling sering teridentifikasi adalah aktivitas antropogenik (limbah industri, emisi kendaraan, dan pupuk), dan nilai THQ/HI serta TR yang melampaui ambang batas paling sering dilaporkan pada anak-anak. Berdasarkan empat kriteria kelengkapan yang ditetapkan, strategi yang paling komprehensif adalah pendekatan terpadu yang memadukan analisis kimia (AAS, ICP-MS), statistik multivariat (APCS-MLR, PCA), pemetaan GIS, indeks pencemaran (Igeo, Hakanson), dan penilaian risiko kesehatan (THQ, HI, TR) yang didukung sampling representatif; temuan ini bersifat indikatif karena berasal dari sintesis kualitatif. Kendala utama meliputi keterbatasan cakupan sampling, sulitnya atribusi sumber, variabilitas metode dan baku mutu, tingginya biaya analisis, serta minimnya data paparan lokal. Kontribusi tinjauan ini adalah pemetaan kombinasi metode penilaian risiko ekologi dan kesehatan pada pertanian perkotaan, kerangka penilaian terpadu beserta kriteria kelengkapannya, serta agenda riset dan prioritas kebijakan yang diturunkan dari kendala yang teridentifikasi. Tingginya proporsi laporan yang tidak dapat diperoleh teks lengkapnya (68 dari 111) merupakan keterbatasan utama yang perlu dipertimbangkan dalam membaca temuan ini.

Kata kunci: Kontaminasi logam berat, Pertanian perkotaan, Indeks risiko ekologi, Risiko kesehatan, Strategi penilaian terpadu

ABSTRACT

Heavy metal contamination of urban farming land has become a global issue linked to food security and public health, driven by rapid urbanization and industrialization. This review maps the approaches used to assess ecological and health risks of heavy metal contamination in urban farming, covering assessment variants, the most comprehensive assessment strategy, and the constraints encountered. A Systematic Literature Review (SLR) following PRISMA 2020 was conducted on 41 studies published between 2015 and 2025, using structured data extraction and narrative-thematic synthesis. Cr, Cd, Pb, Ni, and As were the metals most frequently reported to exceed safe limits in soils and vegetables, although magnitudes depended on location, medium, and the reference standard used in each study. Anthropogenic activities (industrial waste, vehicle emissions, and fertilizers) were the most frequently identified sources, and THQ/HI and TR values above thresholds were most often reported for children. Based on four predefined completeness criteria, the most comprehensive strategy was an integrated approach combining chemical analysis (AAS, ICP-MS), multivariate statistics (APCS-MLR, PCA), GIS mapping, pollution indices (Igeo, Hakanson), and health risk assessment (THQ, HI, TR), supported by representative sampling; this finding is indicative because it derives from a qualitative synthesis. Key constraints were limited sampling coverage, difficult source apportionment, variability in methods and quality standards, high analytical costs, and scarce local exposure data. The review contributes a map of method combinations used to assess ecological and health risks together in urban farming, an integrated assessment framework with explicit completeness criteria, and a research and policy agenda derived from the identified constraints. The high proportion of reports whose full text could not be retrieved (68 of 111) is the main limitation to consider when interpreting these findings.

Keywords: Heavy metal contamination, *Urban farming*, Ecological risk index, Health risk, Integrated assessment strategy

Citation: Serangmo, D. Y. L., de Rozari, P., Neolaka, Y., dan Ola, A. R. B. (2026). Risiko Ekologi dan Kesehatan Akibat Cemaran Logam Berat pada Pertanian Perkotaan: Tinjauan Sistematis. Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(6), 1507-1519, doi:10.14710/jil.24.5.1507-1519

1. PENDAHULUAN

Kontaminasi logam berat pada lahan pertanian perkotaan (*urban farming*) merupakan permasalahan lingkungan global yang mengancam ketahanan pangan dan kesehatan masyarakat (Rahim *et al*., 2024; Alegbe *et al*., 2025). Logam berat seperti kromium (Cr), kadmium (Cd), timbal (Pb), nikel (Ni), dan arsen (As) bersifat toksik, persisten, dan tidak terdegradasi secara biologis, sehingga akumulasinya dalam tanah dan tanaman berpotensi menimbulkan efek karsinogenik maupun non-karsinogenik pada konsumen (Nowar *et al*., 2024; Khatoon *et al*., 2025). Fenomena ini diperkuat oleh pesatnya urbanisasi dan industrialisasi yang meningkatkan emisi polutan ke lingkungan, khususnya pada kawasan pertanian perkotaan yang umumnya berlokasi berdekatan dengan sumber pencemaran antropogenik (Guo *et al*., 2024; Soodmand *et al*., 2025).

Pertanian perkotaan menawarkan solusi bagi ketahanan pangan dan penyediaan ruang hijau perkotaan, namun secara simultan menghadapi risiko akumulasi kontaminan dari limbah industri, pupuk anorganik, dan emisi kendaraan bermotor (Han *et al*., 2021; Tasleem *et al*., 2023). Logam berat yang mencemari tanah dan air irigasi dapat bertransfer ke tanaman pangan melalui sistem perakaran, masuk ke rantai makanan, dan menimbulkan risiko kesehatan bagi konsumen, terutama anak-anak sebagai kelompok paling rentan (Ullah *et al*., 2020; Mohanty *et al*., 2023). Qi *et al*. (2020) dan Cheng *et al*. (2024) secara konsisten mengidentifikasi Cr dan Cd sebagai logam dengan potensi risiko kesehatan tertinggi di berbagai lokasi.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengukur tingkat kontaminasi serta menilai risiko ekologis dan kesehatan. Instrumen seperti *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) dan *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP-MS) digunakan untuk mengukur konsentrasi logam berat (Musilová *et al*., 2022; Najmi *et al*., 2023); metode statistik multivariat seperti *Absolute Principal Component Scores-Multiple Linear Regression* (APCS-MLR) dan *Principal Component Analysis* (PCA) dimanfaatkan untuk mengidentifikasi sumber pencemaran (Guo *et al*., 2024; Soodmand *et al*., 2025); pemetaan spasial berbasis *Geographic Information System* (GIS) memungkinkan visualisasi distribusi kontaminan (Han *et al*., 2021; Obiri-Nyarko *et al*., 2021); sementara indeks pencemaran (*Geoaccumulation Index, Nemerow Index, Hakanson Index*) dan penilaian risiko kesehatan (*Target Hazard Quotient*/THQ, *Hazard Index*/HI, *Target Cancer Risk*/TR) menjadi standar evaluasi dampak terhadap manusia dan ekosistem (Ullah *et al*., 2020; Chen *et al*., 2024; Cheng *et al*., 2024).

Studi empiris di berbagai negara menunjukkan pola kontaminasi yang mengkhawatirkan. Alegbe *et al*. (2025) melaporkan Cr sebagai logam paling berbahaya dengan risiko non-karsinogenik tertinggi pada anak-anak di Ghana; Rahim *et al*. (2024) menemukan sayuran berdaun di Pakistan mengandung Cd, Cr, Ni, dan Pb melebihi batas aman WHO/FAO; serta Soodmand *et al*. (2025) dan Guo *et al*. (2024) menggunakan model APCS-MLR terintegrasi GIS untuk membuktikan dominasi sumber antropogenik (pupuk, limbah industri, dan lalu lintas). Nowar *et al*. (2024) dan Khatoon *et al*. (2025) mengonfirmasi risiko non-karsinogenik dan karsinogenik dari paparan logam berat melalui sayuran dan air minum di Bangladesh dan Pakistan, sementara Demir *et al*. (2023) dan Abliz *et al*. (2022) menunjukkan bahwa kontribusi faktor geogenik dan antropogenik bervariasi bergantung pada lokasi.

Konsistensi temuan lintas wilayah geografis mengindikasikan bahwa kontaminasi logam berat pada pertanian perkotaan merupakan fenomena sistemik yang berakar pada industrialisasi dan urbanisasi. Akan tetapi, pengetahuan yang dihasilkan masih tersebar dan belum terkonsolidasi. Tinjauan sistematis dan meta-analisis yang telah ada umumnya berfokus pada satu negara atau satu komoditas, misalnya sayuran di Bangladesh (Nowar *et al*., 2024); pada tanah perkotaan secara umum, termasuk risiko ekologi dan kesehatannya, tanpa membedakan lahan budidaya pangan (Tong *et al*., 2020; Adewumi & Ogundele, 2023); atau pada satu aspek paparan tertentu, seperti bioaksesibilitas oral logam pada sayuran dari lahan tercemar (Newell *et al*., 2025). Sejauh penelusuran yang dilakukan, belum tersedia tinjauan sistematis yang secara khusus mengintegrasikan penilaian risiko ekologi dan risiko kesehatan pada konteks pertanian perkotaan. Tinjauan terhadap literatur yang ada mengungkapkan enam kesenjangan penelitian. Pertama, terbatasnya studi yang secara spesifik berfokus pada kawasan pertanian perkotaan dengan karakteristik lokal unik, seperti keterbatasan lahan, pola irigasi, dan intensitas penggunaan pupuk (Ametepey *et al*., 2018; Bhatia *et al*., 2015). Kedua, cakupan jenis tanaman pangan yang diteliti masih sempit dan umumnya terbatas pada sayuran berdaun, sehingga belum merepresentasikan keseluruhan komoditas yang dikonsumsi masyarakat perkotaan (Tahir *et al*., 2022; Chabukdhara *et al*., 2016). Ketiga, sebagian besar studi mengambil sampel pada satu titik waktu tanpa memperhatikan variasi musiman, sehingga generalisasi temuannya terbatas (Ahmed *et al*., 2019; Demir *et al*., 2023). Keempat, masih minimnya integrasi antara penilaian risiko ekologis dan risiko kesehatan dalam satu kerangka analisis yang simultan (Thongyuan *et al*., 2021; Obiri-Nyarko *et al*., 2021). Kelima, belum banyak studi yang menguji efektivitas strategi mitigasi terintegrasi, meskipun penggunaan pupuk organik mulai dieksplorasi sebagai alternatif (Hussain *et al*., 2022). Keenam, variabilitas metodologi dan standar ambang batas antar studi menyulitkan perbandingan hasil serta pembentukan kebijakan standar (Qi *et al*., 2020; Chen *et al*., 2024).

Berbeda dari tinjauan-tinjauan tersebut, tinjauan sistematis ini memberikan tiga kontribusi spesifik. Pertama, tinjauan ini memetakan kombinasi metode

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

yang digunakan studi-studi terdahulu, yaitu analisis kimia kuantitatif, indeks pencemaran, statistik multivariat, pemetaan spasial, dan penilaian risiko kesehatan, untuk menilai risiko ekologi dan risiko kesehatan pada lahan pertanian perkotaan, sekaligus menyoroti pola, kekuatan, dan ketidakkonsistenan antarmetode tersebut. Kedua, tinjauan ini merumuskan kerangka penilaian terpadu beserta empat kriteria kelengkapan yang eksplisit, sehingga dapat digunakan peneliti untuk merancang studi dan oleh pembuat kebijakan untuk menilai kecukupan bukti sebelum menetapkan zonasi atau program pemantauan. Ketiga, tinjauan ini mengelompokkan kendala ke dalam dimensi teknis, metodologis, operasional, data, dan sosial-manajerial, lalu menurunkannya menjadi agenda riset dan prioritas kebijakan yang spesifik, termasuk harmonisasi baku mutu dan integrasi data konsumsi lokal.

Berdasarkan uraian tersebut, tinjauan ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi varian penilaian status dan risiko ekologi cemaran logam berat pada pertanian perkotaan beserta metode dan temuan kuncinya; (2) mengidentifikasi strategi penilaian yang paling komprehensif berdasarkan kriteria yang ditetapkan; dan (3) mengidentifikasi kendala yang menghambat efektivitas penilaian dan pengelolaannya.

2. METODE PENELITIAN

Tinjauan ini menggunakan desain *Systematic Literature Review* (SLR) yang dilaksanakan mengacu pada pedoman PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) untuk menjamin transparansi dan replikabilitas (Page *et al*., 2021). Tiga pertanyaan penelitian yang menjadi acuan adalah: (1) bagaimana varian penilaian status dan risiko ekologi cemaran logam berat pada pertanian perkotaan beserta metode dan temuan kuncinya; (2) strategi penilaian apa yang paling komprehensif berdasarkan kriteria yang ditetapkan; dan (3) kendala apa saja yang sering menghambat efektivitas penilaian dan pengelolaannya.

Pencarian literatur dilakukan pada November–Desember 2025 melalui lima basis data: Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar, dan ScienceDirect, dilengkapi *hand-searching* pada daftar pustaka artikel terpilih. Strategi pencarian menggunakan operator Boolean: ("urban farm*" OR "urban agricultur*" OR "urban garden*") AND ("heavy metal" OR "trace element") AND ("ecological risk" OR "health risk" OR "risk assessment"). Simbol pemotongan (*) diterapkan untuk menangkap variasi bentuk kata.

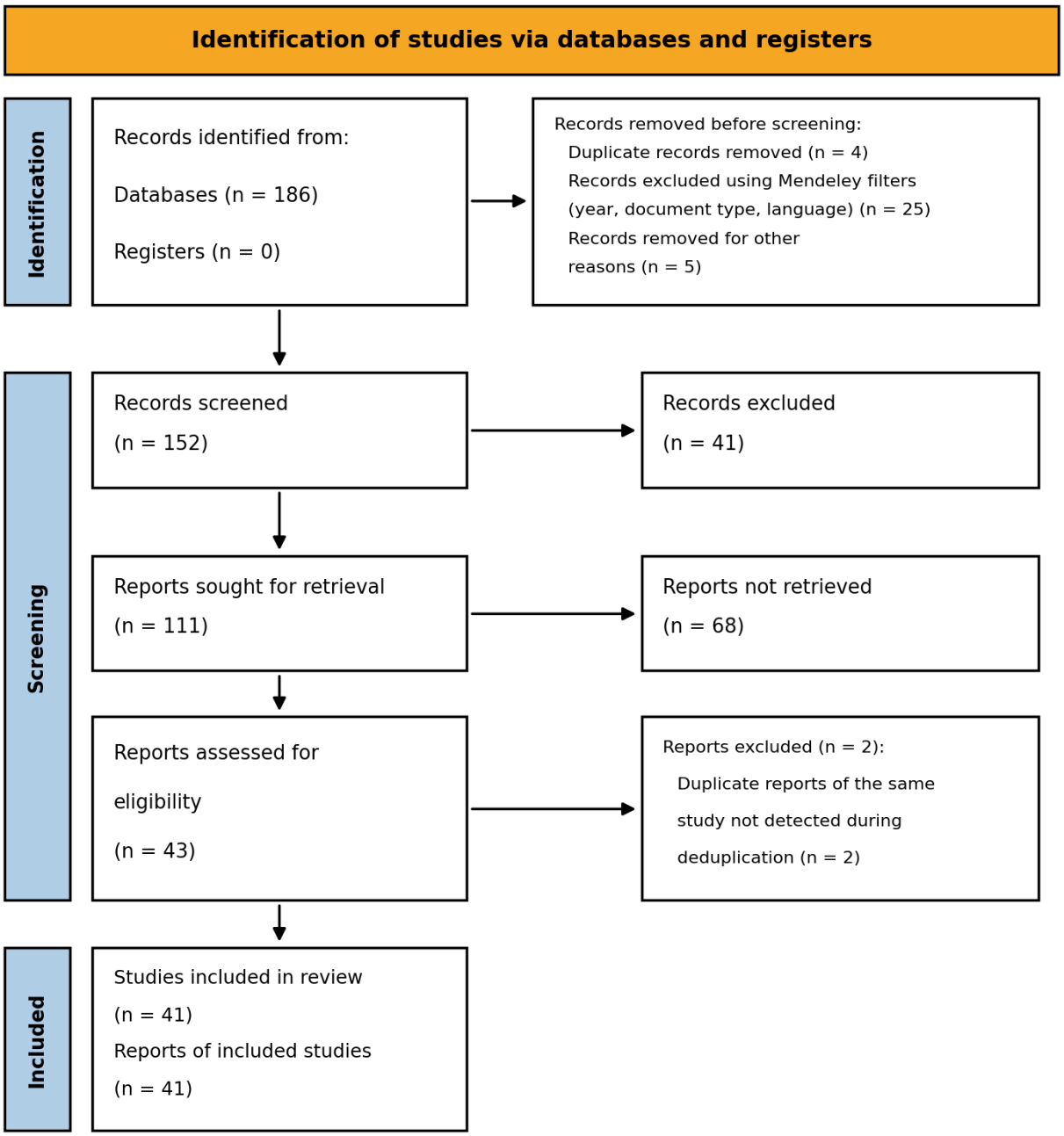
Kriteria inklusi meliputi artikel peer-reviewed yang membahas kontaminasi logam berat pada pertanian perkotaan, menggunakan indeks penilaian risiko ekologi dan/atau kesehatan, terbit tahun 2015–2025, berbahasa Inggris atau Indonesia, dan teks lengkap tersedia. Artikel berupa prosiding, tesis, buku, atau yang tidak menggunakan indeks risiko dieksklusi.

Dalam tinjauan ini, pertanian perkotaan didefinisikan secara operasional sebagai lahan budidaya pangan di kawasan perkotaan dan peri-urban beserta media lingkungan yang secara langsung memasok kontaminan ke lahan tersebut, yaitu air irigasi, debu jalan, sedimen, serta tanah di sekitar tempat pembuangan sampah dan kawasan industri. Studi pada media tersebut diinklusi karena memberikan informasi tentang sumber dan jalur kontaminasi yang relevan bagi pertanian perkotaan, meskipun tidak seluruhnya mengukur komoditas pangan secara langsung; karakteristik media dan jenis lahan setiap studi disajikan pada Lampiran S1.

Seleksi studi mengikuti alur PRISMA 2020. Pencarian awal mengidentifikasi 186 rekod dari basis data yang digunakan, tanpa rekod tambahan dari registri. Sebanyak 4 rekod dihapus karena duplikasi, 25 rekod dieliminasi menggunakan fitur penyaringan pada Mendeley berdasarkan metadata bibliografis, yaitu tahun terbit di luar 2015–2025, jenis dokumen selain artikel jurnal, dan bahasa selain Inggris atau Indonesia, dan 5 rekod dieliminasi karena alasan lain, sehingga tersisa 152 rekod untuk skrining judul dan abstrak. Pada tahap skrining, 41 rekod dieksklusi sehingga 111 laporan dicari untuk pengambilan teks lengkap (*reports sought for retrieval*). Sebanyak 68 laporan tidak berhasil diperoleh teks lengkapnya (*not retrieved*), sehingga 43 laporan dinilai kelayakannya (*assessed for eligibility*). Tingginya angka *not retrieved* ini terutama disebabkan oleh keterbatasan akses institusional terhadap artikel yang dipublikasikan pada jurnal berlangganan (*paywall*) tanpa akses institusi yang memadai; artikel-artikel tersebut tidak dapat diperoleh teks lengkapnya melalui basis data yang tersedia bagi tim peneliti. Pada tahap penilaian kelayakan, 2 laporan dieksklusi karena merupakan versi ganda dari studi yang sama yang tidak terdeteksi pada tahap deduplikasi, sehingga total 41 studi diinklusikan dalam sintesis. Seleksi dilakukan oleh dua peneliti secara independen; ketidaksepakatan diselesaikan melalui diskusi hingga konsensus. Diagram alir PRISMA disajikan pada Gambar 1.

Proporsi laporan yang tidak dapat diperoleh teks lengkapnya cukup besar (68 dari 111; 61,3%) dan berpotensi menimbulkan bias penelusuran (*retrieval bias*). Untuk menelaah kemungkinan arah bias tersebut, status akses jurnal dari 41 studi yang diinklusi diperiksa (Lampiran S1): 23 studi (56%) terbit di jurnal akses terbuka penuh dan 18 studi (44%) di jurnal berlangganan atau hibrida. Dengan demikian, studi akses terbuka kemungkinan terwakili secara berlebih, meskipun studi dari jurnal berlangganan tetap terwakili dalam proporsi yang cukup besar. Selain itu, studi yang diinklusi hanya berasal dari Asia, Afrika, dan Eropa, sehingga temuan tinjauan ini belum dapat digeneralisasi ke kawasan Amerika dan Oseania.

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP



Gambar 1. Diagram Alir PRISMA 2020 Proses Seleksi Studi

Ekstraksi data menggunakan formulir terstruktur yang mencakup identitas studi, lokasi, metode analisis kimia, jenis dan konsentrasi logam berat, indeks pencemaran, nilai risiko kesehatan (THQ, HI, TR), sumber pencemaran, serta kendala yang dilaporkan. Penilaian kualitas studi dilakukan dengan instrumen yang diadaptasi dari Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) versi 2018 (Hong *et al*., 2018) menggunakan dua pertanyaan penyaring dan lima kriteria kategori studi kuantitatif deskriptif, yaitu (4.1) relevansi strategi sampling, (4.2) keterwakilan sampel terhadap area target, (4.3) kesesuaian pengukuran, termasuk validasi metode dan QA/QC (bahan acuan bersertifikat, blanko, dan recovery), (4.4) risiko bias, dan (4.5) kesesuaian analisis statistik serta perhitungan indeks risiko. Kriteria 4.4 pada MMAT asli menilai bias nonrespons; karena studi yang ditinjau tidak melibatkan responden, kriteria ini diadaptasi menjadi kecukupan lokasi dan jumlah sampel serta pengendalian kontaminasi. MMAT dipilih karena kemampuannya menilai studi kuantitatif deskriptif yang mendominasi literatur ini. Setiap kriteria dinilai "ya", "tidak", atau "tidak jelas"; studi yang memenuhi kelima kriteria dikategorikan berkualitas tinggi, 3–4 kriteria sedang, dan ≤2 kriteria rendah. Hasilnya, 24 studi berkualitas tinggi, 9 sedang, dan 8 rendah (Lampiran S2). Seluruh studi tetap disertakan dalam sintesis, tetapi kualitasnya digunakan untuk menimbang kekuatan bukti setiap temuan utama: kuat bila ≥75% studi pendukung berkualitas tinggi, sedang bila 50–74%, dan terbatas bila <50%.

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Sintesis data dilakukan secara kualitatif-tematik karena variabilitas metode dan satuan ukur antar studi tidak memungkinkan dilakukannya meta-analisis kuantitatif. Proses sintesis mencakup tiga langkah: pengkodean awal (initial coding) secara induktif, pengelompokan kode menjadi subtema lalu dikonsolidasikan ke dalam tiga tema utama sesuai pertanyaan penelitian, dan penyusunan narasi tematik integratif (*thematic narrative synthesis*) yang menghubungkan pola temuan antar studi dengan ketiga pertanyaan penelitian yang telah ditetapkan.

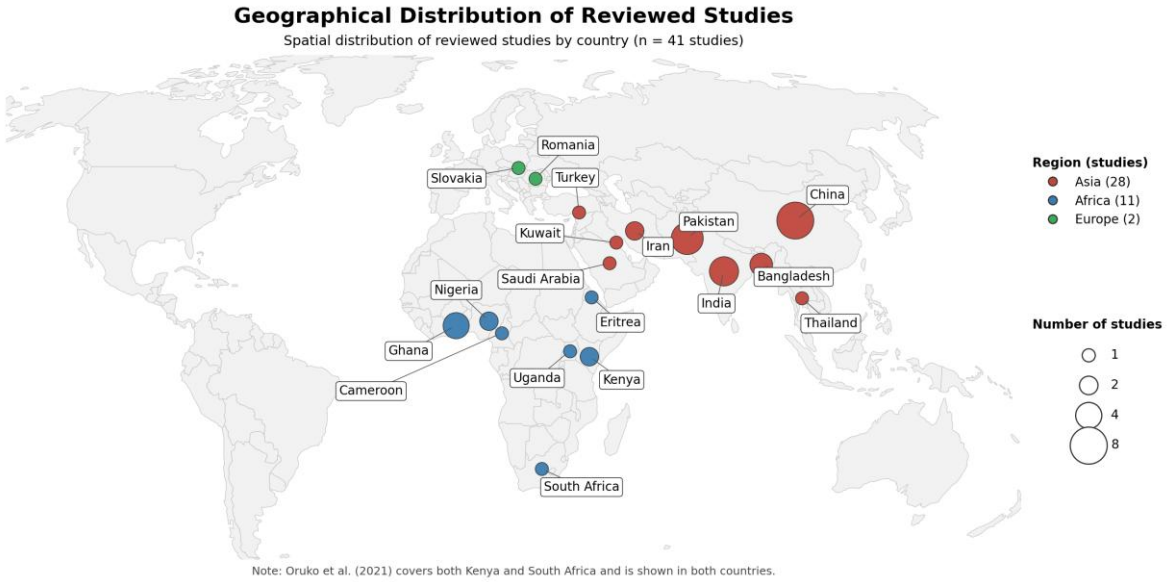
Efektivitas strategi penilaian pada pertanyaan penelitian kedua dioperasionalkan sebagai tingkat kelengkapan (komprehensivitas) strategi tersebut, bukan sebagai keunggulan yang diuji secara kuantitatif. Kelengkapan dinilai berdasarkan empat kriteria: (1) cakupan rantai sumber–media–paparan, yaitu tanah, air irigasi, dan tanaman; (2) kemampuan mengatribusikan sumber pencemar secara kuantitatif; (3) resolusi spasial dan temporal data; dan (4) kemampuan menghasilkan keluaran yang dapat ditindaklanjuti untuk pengelolaan, seperti zonasi risiko atau prioritas pemantauan. Strategi yang memenuhi lebih banyak kriteria dinyatakan lebih komprehensif. Karena penilaian ini bersifat naratif, temuan terkait strategi penilaian dibaca sebagai indikasi kecenderungan, bukan bukti keunggulan yang teruji secara statistik. Frekuensi penggunaan metode dan indeks dihitung per artikel; satu artikel dapat menerapkan lebih dari satu metode atau indeks sehingga jumlah persentase antarkategori dapat melebihi 100%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Varian Penilaian Status dan Risiko Ekologi Cemaran Logam Berat pada Pertanian Perkotaan

Tinjauan terhadap 41 studi mengungkap bahwa Cr, Cd, Pb, Ni, dan As merupakan logam yang paling sering dilaporkan melebihi batas aman, meskipun media yang diuji (tanah, air irigasi, atau sayuran) dan standar acuan yang digunakan berbeda antarstudi (Alegbe *et al*., 2025; Rahim *et al*., 2024; Nowar *et al*., 2024; Atitsogbey *et al*., 2023). Pada studi dari Afrika (n = 11; Ghana, Nigeria, Kenya, Uganda, Eritrea, Kamerun, dan Afrika Selatan), Cr paling sering dilaporkan sebagai logam dengan risiko ekologi tertinggi. Pada studi dari Asia (n = 28; China, Pakistan, India, Bangladesh, Iran, Arab Saudi, Kuwait, Thailand, dan Turki), Pb dan Cd lebih sering dilaporkan sebagai logam dominan. Adapun dua studi dari Eropa (Slovakia dan Rumania) melaporkan pola kontaminasi serupa di kawasan bekas industri berat. Karena jumlah studi antarwilayah tidak seimbang, perbandingan ini bersifat indikatif. Sebaran geografis studi disajikan pada Gambar 2.

Kesamaan pola kontaminasi lintas benua ini kemungkinan berkaitan dengan urbanisasi, industrialisasi, dan intensifikasi pertanian perkotaan (Soodmand *et al*., 2025; Tasleem *et al*., 2023). Variasi jenis logam dominan antarwilayah diduga berkaitan dengan perbedaan profil industri lokal: dominasi Cr pada studi-studi dari Afrika dapat dikaitkan dengan keberadaan industri penyamakan kulit dan pertambangan artisanal (Oruko *et al*., 2021; Njayou *et al*., 2023), sedangkan dominasi Pb dan Cd pada studi-studi dari Asia dapat dikaitkan dengan intensitas lalu lintas kendaraan bermotor dan penggunaan pupuk fosfat yang tinggi (Rahim *et al*., 2024; Bhatia *et al*., 2015). Jika pola ini terkonfirmasi oleh studi yang lebih merata antarwilayah, strategi mitigasi perlu disesuaikan dengan profil sumber pencemar setempat dan tidak dapat diseragamkan secara global. Nour *et al*. (2022) menambahkan bahwa karakteristik geokimia substrat turut memengaruhi mobilitas logam, sehingga penilaian risiko yang mengabaikan faktor ini berpotensi menghasilkan estimasi yang kurang akurat. Logam dominan per lokasi studi dirangkum pada Tabel 1.



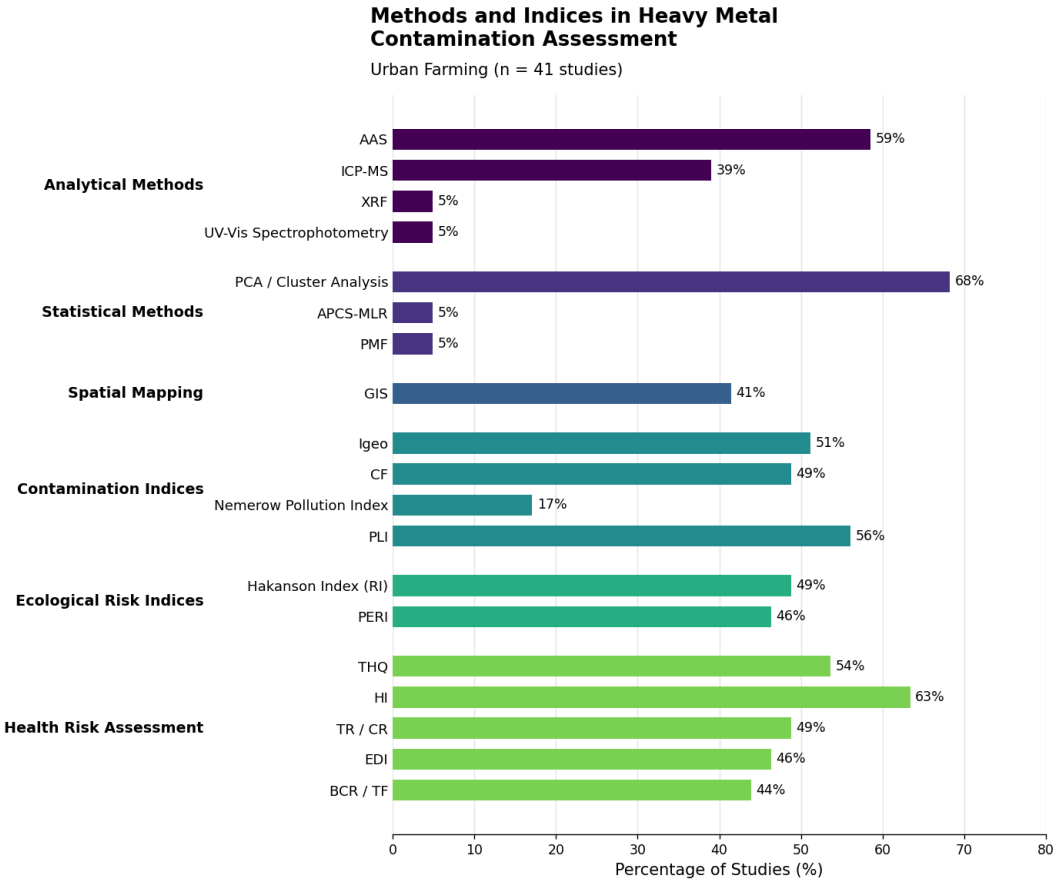
Gambar 2. Distribusi Geografis Studi Kontaminasi Logam Berat pada Pertanian Perkotaan (n=41)

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Faktor temporal dilaporkan memengaruhi konsentrasi logam. Ahmed *et al*. (2019) melaporkan konsentrasi logam dalam sayuran di Bangladesh dua hingga tiga kali lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan musim hujan akibat evapokonsentrasi; Tomno *et al*. (2020) mengkonfirmasi pola serupa pada air dan tanah di Kenya. Bioakumulasi logam tertinggi secara konsisten tercatat pada sayuran berdaun seperti bayam, selada, dan kubis, yang diidentifikasi sebagai vektor utama paparan logam pada konsumen perkotaan di berbagai wilayah. Implikasinya, studi yang melakukan sampling hanya pada satu titik waktu, yaitu 33 dari 41 studi, berisiko meremehkan atau melebih-lebihkan paparan aktual, bergantung pada musim pengambilan sampel (Demir *et al*., 2023; Rahim *et al*., 2024; Ametepey *et al*., 2018). Pemantauan rutin multi-musim pada sayuran berdaun di kawasan pertanian perkotaan berbeban pencemaran tinggi menjadi rekomendasi prioritas (Ullah *et al*., 2020; Kumar *et al*., 2021).

Dari sisi metodologi, AAS digunakan dalam 59% studi (24/41) dan ICP-MS dalam 39% studi (16/41); karena satu studi dapat menggunakan lebih dari satu instrumen, persentase antarkategori tidak berjumlah 100%. Dominasi AAS kemungkinan berkaitan dengan keterbatasan sumber daya di negara berkembang, sementara peningkatan penggunaan ICP-MS terlihat pada studi dari China dan Eropa. Perbedaan sensitivitas kedua instrumen ini dapat memengaruhi komparabilitas data: studi yang hanya mengandalkan AAS berpotensi meremehkan risiko pada logam berkonsentrasi sangat rendah namun sangat toksik seperti As dan Cd. Untuk penilaian risiko, kerangka THQ/HI/TR (USEPA) diterapkan pada 63% studi (26/41), diikuti Geoaccumulation Index (Igeo; 51%; 21/41) dan Hakanson Index (49%; 20/41). Variabilitas standar ambang batas antar studi, yaitu perbedaan antara WHO/FAO, USEPA, dan standar nasional, memperparah ketidaksebandingan ini (Chen *et al*., 2024; Qi *et al*., 2020; Wang *et al*., 2018; Yang *et al*., 2018). Frekuensi penggunaan metode dan indeks disajikan pada Gambar 3.

Identifikasi sumber secara kualitatif melalui PCA atau analisis klaster dilakukan pada 28 studi (68%), sedangkan atribusi sumber secara kuantitatif dengan APCS-MLR dan PMF hanya dilakukan pada dua studi (Chen *et al*., 2024; Guo *et al*., 2024). Secara keseluruhan, industri, lalu lintas, dan pertanian/pupuk merupakan sumber antropogenik yang paling sering teridentifikasi (Soodmand *et al*., 2025; Guo *et al*., 2024; Han *et al*., 2021). Di antara studi yang ditinjau, kombinasi APCS-MLR dan pemetaan GIS mampu memisahkan kontribusi berbagai sumber secara kuantitatif sekaligus menunjukkan sebarannya secara spasial. Temuan ini mengisyaratkan bahwa pengendalian pada sumber (*source control*) perlu menjadi bagian utama pengelolaan, di samping remediasi tanah.



Gambar 3. Frekuensi Penggunaan Metode Analisis dan Indeks Penilaian dalam Studi (n=41)

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Penilaian risiko kesehatan menunjukkan kondisi yang paling mendesak untuk diperhatikan dalam tinjauan ini. THQ dan HI > 1 berulang kali dilaporkan untuk Cr, Cd, dan Pb pada anak-anak di berbagai wilayah; nilai tersebut menandakan risiko non-karsinogenik yang tidak dapat diterima. Adapun TR melebihi ambang batas karsinogenik untuk As, Cd, dan Pb. Ringkasan temuan risiko kesehatan disajikan pada Tabel 1.

Kerentanan anak-anak bersifat berlapis sehingga temuan ini menjadi kritis secara kebijakan. Pertama, tingkat konsumsi sayuran per unit berat badan lebih tinggi. Kedua, sistem fisiologis yang masih berkembang lebih rentan terhadap neurotoksisitas Pb dan nefrotoksisitas Cd. Ketiga, perilaku oral pada anak kecil meningkatkan jalur paparan non-diet (Ullah *et al*., 2020; Nowar *et al*., 2024; Kfle *et al*., 2020; Kumar *et al*., 2021). Dari perspektif ekologis, Hakanson Index menunjukkan Cr dan Cd sebagai kontributor terbesar terhadap indeks risiko total, yang berpotensi mengganggu fungsi ekosistem pertanian perkotaan, termasuk keanekaragaman hayati tanah dan siklus biogeokimia yang menopang produktivitasnya. Namun, validitas temuan risiko ini perlu dikritisi: mayoritas studi mengandalkan asumsi konsumsi dari literatur internasional, bukan data pola konsumsi lokal yang aktual. Integrasi data epidemiologi lokal ke dalam kerangka penilaian risiko merupakan agenda penelitian mendesak.

Dengan mempertimbangkan kualitas studi, kekuatan bukti untuk temuan utama tersebut bervariasi (Lampiran S2). Bukti tergolong kuat untuk aktivitas antropogenik sebagai sumber pencemar utama (19 dari 25 studi pendukung berkualitas tinggi; 76%) dan untuk pengaruh data konsumsi lokal terhadap profil risiko (11 dari 14; 79%). Bukti tergolong sedang untuk Cr, Cd, Pb, Ni, dan As sebagai logam yang paling sering melebihi batas aman (15 dari 27; 56%), sayuran berdaun sebagai jalur paparan utama (13 dari 22; 59%), konsentrasi yang lebih tinggi pada musim kemarau (5 dari 7; 71%), nilai THQ/HI > 1 yang paling sering pada anak-anak (13 dari 21; 62%), serta TR yang melampaui ambang karsinogenik untuk As, Cd, dan Pb (12 dari 17; 71%). Tidak ada temuan utama yang tergolong terbatas, tetapi temuan dengan bukti sedang perlu dikonfirmasi oleh studi berkualitas tinggi yang lebih banyak.

3.2. Strategi Penilaian Paling Komprehensif untuk Status dan Risiko Ekologi Cemaran Logam Berat pada Pertanian Perkotaan

Berdasarkan empat kriteria kelengkapan yang ditetapkan pada bagian Metode, tidak ada metode tunggal yang memenuhi seluruh kriteria. Studi yang mengintegrasikan empat komponen secara simultan, yaitu analisis kimia kuantitatif, identifikasi sumber berbasis statistik multivariat, pemetaan spasial GIS, dan penilaian risiko kesehatan, memenuhi lebih banyak kriteria dan menghasilkan rekomendasi yang lebih spesifik dibandingkan studi dengan pendekatan parsial (Soodmand *et al*., 2025; Guo *et al*., 2024; Chen *et al*., 2024). Kerangka konseptual pendekatan terpadu disajikan pada Gambar 4.

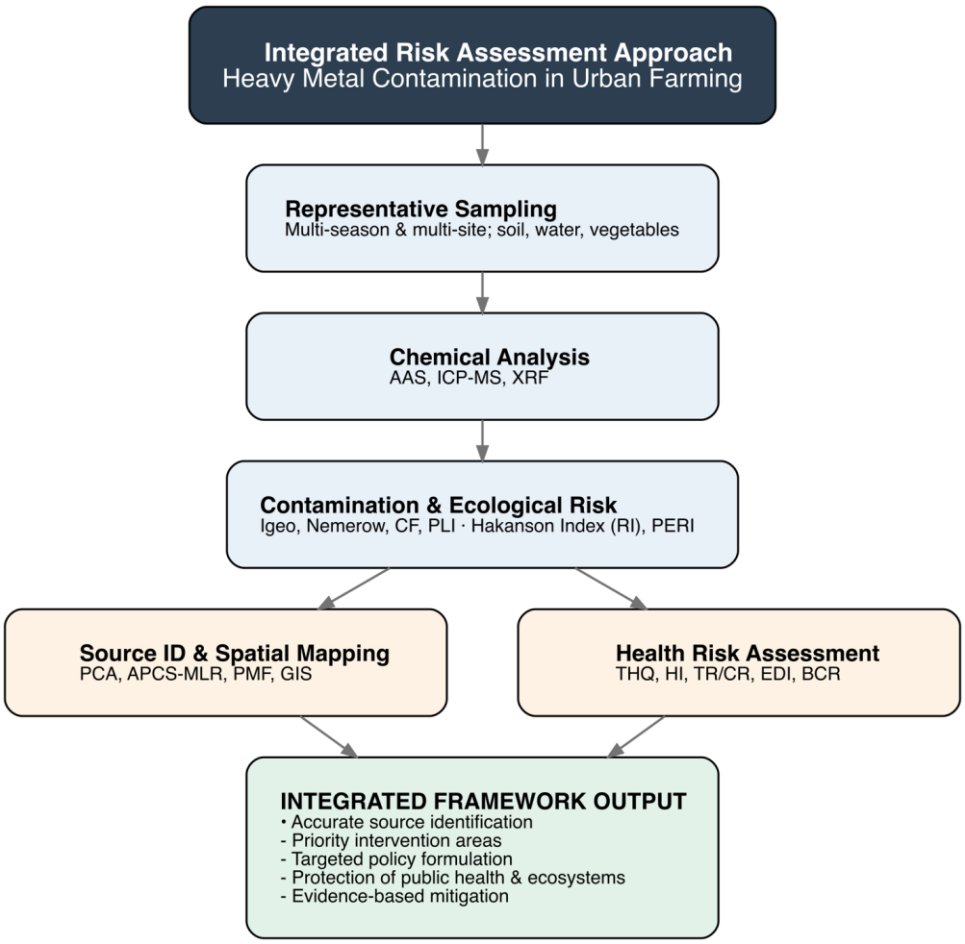
Komponen pertama, yaitu analisis kimia dengan desain sampling representatif, merupakan fondasi yang menentukan validitas seluruh tahap berikutnya. Studi yang menerapkan sampling multi-musim dan multi-media (tanah, air irigasi, dan tanaman secara bersamaan) menghasilkan data yang lebih representatif dibandingkan sampling tunggal (Ahmed *et al*., 2019; Rahim *et al*., 2024; Demir *et al*., 2023; Tomno *et al*., 2020; Mihaileanu *et al*., 2019). Tanpa data yang representatif, akurasi indeks pencemaran dan penilaian risiko yang dibangun di atasnya menjadi terbatas.

Tabel 1. Ringkasan Temuan Risiko Kesehatan dari Studi Kontaminasi Logam Berat pada Pertanian Perkotaan

Lokasi	Logam dengan THQ/HI > 1	Logam dengan TR > 1×10^{-4}	Kelompok Rentan	Referensi
Pakistan, India, Bangladesh	Cr, Cd, Pb, Ni, As	Cr, Cd, Pb, As	Anak-anak	Alegbe *et al*., 2025; Rahim *et al*., 2024; Nowar *et al*., 2024; Khatoon *et al*., 2025; Ullah *et al*., 2020; Tahir *et al*., 2022; Kumar *et al*., 2021
China (Xinjiang, Daye, Tangshan, Datun)	Cu, Pb, Hg, As, Cr, Cd	Pb, As, Cr, Cd	Anak-anak	Cheng *et al*., 2024; Abliz *et al*., 2022; Yang *et al*., 2018; Qi *et al*., 2020; Chen *et al*., 2024
Iran, Arab Saudi, Thailand	Pb, Cd, Fe, Mn, Zn	Pb, Cd	Anak-anak, Dewasa	Soodmand *et al*., 2025; Najmi *et al*., 2023; Thongyuan *et al*., 2021; Thongyuan *et al*. 2020b
Ghana (Kumasi, Tamale, Kpone)	Cr, Cd, Pb, As, Hg, Mn	Pb, As, Cr	Anak-anak	Ametepey *et al*., 2018; Obiri-Nyarko *et al*., 2021; Atitsogbey *et al*., 2023
Nigeria (Challawa, Trailer Park)	Cd, Cr, Pb	Cd, Cr, Pb	Anak-anak	Edogbo *et al*., 2020; Adedeji *et al*., 2020
Kenya, Uganda, Eritrea	Zn, Pb, Cr, Cd, Fe	-	Konsumen	Otim *et al*., 2021; Tomno *et al*., 2020; Kfle *et al*., 2020

Catatan: TR hanya dicantumkan untuk logam yang memiliki faktor kemiringan kanker oral (cancer slope factor, CSF). Cu dan Hg tidak dicantumkan pada kolom TR karena tidak memiliki CSF oral dalam basis data IRIS USEPA; untuk Pb, studi primer umumnya menggunakan CSF dari OEHHA (California). Sumber: disintesis dari studi yang dirujuk.

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP



Gambar 4. Kerangka Konseptual Pendekatan Terpadu untuk Penilaian Status dan Risiko Ekologi Cemaran Logam Berat pada Pertanian Perkotaan

Komponen kedua, yaitu kombinasi indeks pencemaran terstandar, cenderung memberikan gambaran risiko yang lebih menyeluruh daripada indeks tunggal. Studi yang menerapkan *Geoaccumulation Index, Nemerow Index*, dan *Hakanson Index* secara bersamaan dapat mengidentifikasi wilayah prioritas intervensi secara lebih terperinci (Chen *et al*., 2024; Soodmand *et al*., 2025; Qi *et al*., 2020). Moghtaderi *et al*. (2020) di Iran dan Njayou *et al*. (2023) di Kamerun menunjukkan bahwa efektivitas indeks ini sangat bergantung pada ketersediaan data latar belakang geokimia lokal yang akurat. Hal ini menunjukkan keterbatasan penerapan indeks berbasis standar internasional di wilayah dengan geologi khas, ketika nilai latar belakang alami dapat sudah tinggi sebelum ada aktivitas manusia, sehingga penggunaan standar baku internasional berisiko mengklasifikasikan kontaminasi alami sebagai pencemaran antropogenik.

Komponen ketiga, yaitu identifikasi sumber dengan APCS-MLR dan pemetaan GIS, memberikan nilai tambah yang besar dalam mendukung pengambilan keputusan. Pada studi yang menerapkannya, pendekatan ini mampu memisahkan kontribusi kuantitatif berbagai sumber dan memvisualisasikan zona risiko tinggi secara spasial (Soodmand *et al*., 2025; Guo *et al*., 2024; Han *et al*., 2021; Obiri-Nyarko *et al*., 2021;Adedeji *et al*., 2020). Abliz *et al*. (2022) di Xinjiang dan Yang *et al*. (2018) di Tangshan mengonfirmasi bahwa integrasi GIS memungkinkan deteksi gradien kontaminasi spasial yang tidak dapat diperoleh dari analisis statistik saja. Secara praktis, informasi ini memungkinkan perencana kota menetapkan zona larangan pertanian perkotaan atau zona prioritas pemantauan. Keterbatasannya adalah kebutuhan data berkualitas tinggi dan jumlah sampel yang memadai (Soodmand *et al*., 2025; Nargis *et al*., 2022) yang sering menjadi kendala di negara berkembang.

Komponen keempat, yaitu penilaian risiko kesehatan berbasis data paparan lokal, menjadi pembeda antara studi yang menghasilkan rekomendasi generik dan studi yang menghasilkan intervensi yang dapat diimplementasikan. Nowar *et al*. (2024) di Bangladesh, Mohanty *et al*. (2023) di India, Kumar *et al*. (2021) di Lucknow, dan Chabukdhara *et al*. (2016) di Ghaziabad menunjukkan bahwa penggunaan data pola konsumsi lokal dapat mengubah profil risiko yang dihitung dibandingkan dengan asumsi standar internasional. Hal ini mengisyaratkan bahwa intervensi yang dirancang berdasarkan data lokal berpotensi lebih tepat sasaran (Ullah *et al*., 2020; Ametepey *et al*., 2018; Khatoon *et al*., 2025; Tahir *et al*., 2022; Otim *et al*., 2021).

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Tabel 2. Ringkasan Komponen Strategi Penilaian Terpadu untuk Kontaminasi Logam Berat pada Pertanian Perkotaan

Komponen	Metode / Indeks	Fungsi	Referensi
Sampling	Multi-musim dan multi-lokasi	Data representatif	Ahmed *et al*., 2019;Rahim *et al*., 2024
Analisis Kimia	AAS, ICP-MS	Mengukur konsentrasi logam	Najmi *et al*., 2023;Nowar *et al*., 2024
Kontaminasi Tanah	Igeo, Nemerow, CF	Menilai tingkat pencemaran	Cheng *et al*., 2024;Qi *et al*., 2020
Risiko Ekologis	Hakanson Index, PERI	Menilai dampak terhadap ekosistem	Soodmand *et al*., 2025; Guo *et al*., 2024
Identifikasi Sumber	APCS-MLR, PCA, PMF	Menentukan asal pencemaran	Soodmand *et al*., 2025; Guo *et al*., 2024
Pemetaan Spasial	GIS	Memvisualisasi distribusi	Soodmand *et al*., 2025; Guo *et al*., 2024
Risiko Kesehatan	THQ, HI, TR	Menilai risiko pada populasi	Nowar *et al*., 2024; Ullah *et al*., 2020
Mitigasi	Pupuk Organik	Mengurangi bioakumulasi	*Hussain et al., 2022*

Sumber: disintesis dari 41 studi yang ditinjau

Tabel 3. Ringkasan Kendala dan Solusi Potensial dalam Penilaian dan Pengelolaan Cemaran Logam Berat pada Pertanian Perkotaan

Jenis Kendala	Deskripsi	Solusi Potensial	Referensi
Teknis	Sampling terbatas (spasial-temporal)	Desain multi-musim dan multi-lokasi	Ahmed *et al*., 2019; Rahim *et al*., 2024
	Identifikasi sumber sulit (tumpang tindih)	APCS-MLR + PCA + GIS terintegrasi	Soodmand *et al*., 2025; Guo *et al*., 2024
Metodologis	Variabilitas metode dan standar antar studi	Harmonisasi dan standardisasi metodologi	Chen *et al*., 2024; Qi *et al*., 2020
Operasional	Biaya analisis tinggi, lab terbatas	Kolaborasi laboratorium, pendanaan	Najmi *et al*., 2023;Ullah *et al*., 2020
Data	Kurang data profil paparan penduduk	Survei epidemiologi dan konsumsi lokal	Nowar *et al*., 2024; Khatoon *et al*., 2025
Sosial-Manajerial	Koordinasi lemah, kesadaran rendah, regulasi tidak konsisten	Penguatan kelembagaan, edukasi, penegakan regulasi	Tasleem *et al*., 2023;Hussain *et al*., 2022

Sumber: disintesis dari 41 studi yang ditinjau

Dalam konteks mitigasi, Hussain *et al*. (2022) melaporkan bahwa amandemen organik dapat mengurangi mobilitas dan bioakumulasi logam berat melalui peningkatan kapasitas tukar kation tanah dan pembentukan kompleks organo-logam. Namun, mitigasi tidak dapat dipisahkan dari pengendalian sumber: Bhatia *et al*. (2015) dan Kfle *et al*. (2020) menekankan bahwa penggantian sumber air irigasi yang tercemar merupakan intervensi mendasar yang sering diabaikan, karena upaya remediasi tanah menjadi kurang efektif jika irigasi terus membawa logam baru ke lahan. Hal ini mencerminkan prinsip yang lebih luas: efektivitas strategi penilaian dan mitigasi bergantung pada pendekatan sistem yang memandang pertanian perkotaan sebagai ekosistem terbuka yang terus-menerus menerima masukan dari lingkungan sekitarnya, bukan sebagai unit produksi tertutup. Ringkasan komponen strategi penilaian terpadu disajikan pada Tabel 2.

Secara keseluruhan, pendekatan terpadu yang mengintegrasikan keempat komponen teknis dengan sampling representatif dan strategi mitigasi berbasis bukti memenuhi kriteria kelengkapan paling banyak di antara strategi yang ditemukan, sehingga paling berpotensi mendukung kebijakan (Soodmand *et al*., 2025; Guo *et al*., 2024; Nowar *et al*., 2024; Hussain *et al*., 2022). Keberhasilan implementasinya bergantung pada ketersediaan data berkualitas, kapasitas laboratorium yang memadai, dan, yang paling sering diabaikan, koordinasi lintas sektor antara otoritas lingkungan, kesehatan masyarakat, dan perencanaan kota (Tasleem *et al*., 2023; Gujre *et al*., 2021).

3.3. Kendala dalam Penilaian dan Pengelolaan Cemaran Logam Berat pada Pertanian Perkotaan

Penilaian dan pengelolaan cemaran logam berat pada pertanian perkotaan dihadapkan pada kendala multidimensi yang saling memperkuat. Ringkasan kendala dan solusi potensial disajikan pada Tabel 3.

Kendala teknis paling mendasar adalah keterbatasan sampling spasial dan temporal. Banyak studi yang ditinjau, termasuk Edogbo *et al*. (2020), Adedeji *et al*. (2020), Tomno *et al*. (2020), Kfle *et al*. (2020), dan Otim *et al*. (2021) dari Afrika, Ahmed *et al*. (2019) dari Asia, serta Ametepey *et al*. (2018) dari Ghana, hanya mengambil sampel pada satu titik waktu dan lokasi terbatas. Keterbatasan ini kemungkinan berkaitan dengan anggaran penelitian. Akibatnya, data yang dihasilkan bersifat snapshot dan tidak mencerminkan tren paparan jangka panjang, sehingga rekomendasi kebijakan yang dihasilkan sulit dipertahankan ketika kondisi musiman berubah. Di sisi lain, kompleksitas lingkungan perkotaan, dengan sumber pencemar yang tumpang tindih secara spasial, mempersulit atribusi kausalitas meskipun didukung data yang baik (Nargis *et al*., 2022; Oruko *et al*., 2021; Njayou *et al*., 2023).

Kendala metodologis terpusat pada fragmentasi standar yang digunakan. Perbedaan instrumen (AAS vs ICP-MS), indeks pencemaran, dan baku mutu acuan (WHO/FAO, USEPA, atau standar nasional) menghasilkan temuan yang tidak dapat dibandingkan secara langsung antar studi (Chen *et al*., 2024; Qi *et al*., 2020; Wang *et al*., 2018; Yang *et al*., 2018). Nour *et al*. (2022) dan Abliz *et al*. (2022) secara khusus menunjukkan bahwa inkonsistensi nilai latar

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

belakang geokimia yang digunakan sebagai referensi menghasilkan klasifikasi tingkat risiko yang berbeda untuk kondisi yang secara substansial sama. Fragmentasi ini juga menghambat pembentukan basis bukti yang cukup kuat untuk mendorong harmonisasi regulasi internasional tentang keamanan pangan pertanian perkotaan.

Kendala operasional berupa biaya analisis yang tinggi dan keterbatasan kapasitas laboratorium menghambat pemantauan rutin, terutama di negara berkembang (Najmi *et al*., 2023; Ullah *et al*., 2020; Otim *et al*., 2021; Kfle *et al*., 2020). Kendala lain adalah tidak tersedianya profil paparan penduduk yang lengkap dan akurat: studi Tahir *et al*. (2022), Chabukdhara *et al*. (2016), Kumar *et al*. (2021), dan Mihaileanu *et al*. (2019) seluruhnya mengandalkan asumsi konsumsi generik dari panduan USEPA atau WHO, bukan data survei konsumsi lokal (Nowar *et al*., 2024; Khatoon *et al*., 2025; Mohanty *et al*., 2023; Ullah *et al*., 2020).

Kendala sosial-manajerial membentuk lapisan hambatan yang sering lebih sulit diatasi daripada kendala teknis. Koordinasi lintas sektor yang lemah antara otoritas lingkungan, kesehatan, dan pertanian tercatat sebagai hambatan berulang (Tasleem *et al*., 2023; Gujre *et al*., 2021; Hussain *et al*., 2022). Hal yang lebih mendasar adalah kesenjangan kesadaran: Atitsogbey *et al*. (2023) menemukan bahwa petani urban di Ghana tidak menyadari air irigasi yang mereka gunakan mengandung logam berat dalam konsentrasi berbahaya; Edogbo *et al*. (2020) dan Bhatia *et al*. (2015) melaporkan temuan serupa di Nigeria dan India. Hal ini mengindikasikan lemahnya translasi pengetahuan, yaitu hasil penelitian ilmiah tidak sampai kepada aktor yang paling membutuhkannya. Penegakan regulasi yang tidak konsisten memperparah kondisi ini: kerangka hukum mungkin tersedia, tetapi kapasitas dan kemauan untuk mengimplementasikannya sering kali tidak (Hussain *et al*., 2022; Gujre *et al*., 2021).

Secara keseluruhan, kendala-kendala ini tidak berdiri sendiri, melainkan membentuk sistem hambatan yang saling memperkuat: keterbatasan biaya mendorong sampling yang tidak memadai; data yang tidak representatif melemahkan validitas penilaian risiko; penilaian risiko yang kurang akurat menghasilkan prioritas intervensi yang tidak tepat; dan kegagalan intervensi dapat memperkuat persepsi bahwa masalah ini terlalu kompleks untuk diselesaikan. Memutus rantai ini membutuhkan lebih dari sekadar solusi teknis parsial: diperlukan pendekatan sistem yang mengatasi kendala teknis, metodologis, dan sosial-manajerial secara simultan, dengan harmonisasi metodologi dan integrasi data epidemiologi lokal sebagai dua titik ungkit yang paling strategis (Chen *et al*., 2024; Tasleem *et al*., 2023; Qi *et al*., 2020).

4. KESIMPULAN

Tinjauan sistematis terhadap 41 studi ini menunjukkan bahwa kontaminasi logam berat pada lahan pertanian perkotaan dilaporkan di berbagai wilayah, dengan Cr, Cd, Pb, Ni, dan As sebagai logam yang paling sering melampaui batas aman dan sayuran berdaun sebagai jalur paparan utama, meskipun besarannya bergantung pada lokasi, media, dan standar acuan. Penilaian yang memadukan analisis kimia kuantitatif, statistik multivariat, pemetaan GIS, indeks pencemaran, dan penilaian risiko kesehatan berbasis data paparan lokal memenuhi kriteria kelengkapan paling banyak; namun, kesimpulan ini bersifat indikatif karena diturunkan dari sintesis kualitatif, bukan dari perbandingan efektivitas secara kuantitatif. Kendala teknis, metodologis, operasional, dan sosial-manajerial yang teridentifikasi saling berkaitan sehingga perlu ditangani secara bersamaan. Kontribusi tinjauan ini terletak pada pemetaan kombinasi metode penilaian risiko ekologi dan kesehatan pada pertanian perkotaan, kerangka penilaian terpadu beserta kriteria kelengkapannya, serta agenda riset dan kebijakan yang diturunkan dari kendala tersebut.

Tinjauan ini memiliki sejumlah keterbatasan. Keterbatasan utama adalah tingginya proporsi laporan yang tidak dapat diperoleh teks lengkapnya (68 dari 111; 61,3%), terutama karena kendala akses jurnal berlangganan. Kondisi ini berpotensi menimbulkan bias penelusuran (*retrieval bias*), sehingga studi akses terbuka (56% dari studi yang diinklusi) kemungkinan terwakili secara berlebih dan cakupan geografis terbatas pada Asia, Afrika, dan Eropa; temuan mengenai pola antarwilayah dan frekuensi penggunaan metode perlu dibaca dengan mempertimbangkan hal ini. Selain itu, pencarian dibatasi pada literatur berbahasa Inggris dan Indonesia, jumlah studi antarwilayah tidak seimbang, variabilitas metode antarstudi tidak memungkinkan sintesis kuantitatif, dan sebagian besar studi primer mengandalkan asumsi konsumsi generik. Agenda riset mendatang mencakup studi longitudinal multi-musim dan multi-lokasi, perluasan jenis tanaman yang diteliti, serta integrasi data paparan lokal. Pada ranah kebijakan, diperlukan harmonisasi baku mutu, penguatan kapasitas laboratorium dan pemantauan rutin, koordinasi lintas sektor, serta edukasi petani perkotaan sebagai prasyarat untuk menerjemahkan bukti ilmiah menjadi pengelolaan pertanian perkotaan yang lebih aman.

DAFTAR PUSTAKA

Abliz, A., Shi, Q., & Abulizi, A. (2022b). Contamination Status and Health Risk Assessment of Soil Heavy Metals in the Northern Slope of Eastern Tianshan Mountains Industrial Belt in Xinjiang, Northwest China. *Forests*, *13*(11), 1–15. https://doi.org/10.3390/f13111914

Adedeji, O. H., Olayinka, O. O., Tope-Ajayi, O. O., & Adekoya, A. S. (2020). Assessing spatial distribution, potential ecological and human health risks of soil heavy metals contamination around a Trailer Park in Nigeria. *Scientific African*, *10*, e00650–e00650. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00650

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Ahmed, M., Matsumoto, M., Ozaki, A., & Thinh, N. Van. (2019a). Heavy Metal Contamination of Irrigation Water, Soil, and Vegetables and the Difference between Dry and Wet Seasons Near a Multi-Industry Zone. *Water*, *11*(583), 1–12. https://doi.org/10.3390/w11030583

Alegbe, P. J., Appiah-Brempong, M., & Awuah, E. (2025). Heavy metal contamination in vegetables and associated health risks. *Scientific African*, *27*(November 2024), e02603--e02603. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2025.e02603

Ametepey, S. T., Cobbina, S. J., Akpabey, F. J., Duwiejuah, A. B., & Abuntori, Z. N. (2018b). Health risk assessment and heavy metal contamination levels in vegetables from tamale metropolis, Ghana. *International Journal of Food Contamination*, *5*(1). https://doi.org/10.1186/s40550-018-0067-0

Atitsogbey, P., Kyereh, E., Ofori, H., Johnson, P. T., & Steiner-asiedu, M. (2023). Heliyon Heavy metal, microbial and pesticides residue contaminations are limiting the potential consumption of green leafy vegetables in Ghana: An overview. *Heliyon*, *9*(4), e15466. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15466

Bhatia, A., Singh, S., & Kumar, A. (2015a). Heavy Metal Contamination of Soil, Irrigation Water and Vegetables in Peri-Urban Agricultural Areas and Markets of Delhi. *Water Environment Research*, *87*(11), 2027–2034. https://doi.org/10.2175/106143015X14362865226833

Chabukdhara, M., Munjal, A., Nema, A. K., Gupta, S. K., & Kaushal, R. K. (2016). Human and Ecological Risk Assessment: An International Heavy metal contamination in vegetables grown around peri-urban and urban-industrial clusters in. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, *22*(3), 736-752. https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1105723

Chen, H., Xiang, J., Luo, F., & Ma, L. (2024). Patient's Emotion Computing Under Robot Vision. *2024 7th International Conference on Advanced Algorithms and Control Engineering, ICAACE 2024*, 241 – 246. https://doi.org/10.1109/ICAACE61206.2024.10548101

Chen, X., Zhang, H., Wong, C. U. I., Li, F., & Xie, S. (2024). Assessment of Heavy Metal Contamination and Ecological Risk in Soil within the Zheng–Bian–Luo Urban Agglomeration. *Processes*, *12*(5), 1–14. https://doi.org/10.3390/pr12050996

Cheng, X., Chen, Z., Zhou, X., Huang, Q., Shen, J., Chen, Y., Hou, M., & Xiong, J. (2024). Evaluation of Contamination and Ecological and Health Risk in Surface Soil and Crops Contaminated with Metalloids and Heavy Metals in Datun, China, "The World Tin Capital." *Soil and Sediment Contamination*, *00*(00), 1–19. https://doi.org/10.1080/15320383.2024.2435994

Demir, M., Tunç, E., Thiele-Bruhn, S., Çelik, Ö., Tsegai, A. T., Aslan, N., & Arslan, S. (2023). Status, Sources and Assessment of Potentially Toxic Element (PTE) Contamination in Roadside Orchard Soils of Gaziantep (Türkiye). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(3). https://doi.org/10.3390/ijerph20032467

Edogbo, B., Okolocha, E., Maikai, B., Aluwong, T., & Uchendu, C. (2020). Risk analysis of heavy metal contamination in soil, vegetables and fish around Challawa area in Kano State, Nigeria. *Scientific African*, *7*, e00281–e00281. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00281

Gujre, N., Mitra, S., Soni, A., Agnihotri, R., Rangan, L., Rene, E. R., & Sharma, M. P. (2021). Chemosphere Speciation, contamination, ecological and human health risks assessment of heavy metals in soils dumped with municipal solid wastes. *Contents lists available at ScienceDirect*, *262*(2021), 128013.

Guo, Y., Yang, Y., & Li, Y. (2024). Comprehensive Perspective on Contamination Identification, Source Apportionment, and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Paddy Soils of a Tropical Island. *Agronomy*, *14*(1777), 2–19.

Han, D., Li, X., Wang, M., & Liang, S. (2021). Spatial contamination and potential ecological risk assessment of heavy metals in farmland soil around nonferrous metal smeltery in north china. *Minerals*, *11*(12). https://doi.org/10.3390/min11121357

Han, D., Qiao, J., & Zhu, Q. (2021). Rural-spatial restructuring promoted by land-use transitions: A case study of Zhulin Town in central China. *Land*, *10*(3), 1 – 28. https://doi.org/10.3390/land10030234

Hong, Q. N., Fàbregues, S., Bartlett, G., Boardman, F., Cargo, M., Dagenais, P., Gagnon, M.-P., Griffiths, F., Nicolau, B., & O'Cathain, A. (2018). The Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) version 2018 for information professionals and researchers. *Education for information*, *34*(4), 285–291.

Hussain, M. I., Khan, Z. I., Akhter, P., Al-Hemaid, F. M., Al-Hashimi, A., Elshikh, M. S., Ahmad, K., & Yang, H. H. (2022). Potential of Organic Amendments for Heavy Metal Contamination in Soil–Coriander System: Environmental Fate and Associated Ecological Risk. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(11374), 1–17. https://doi.org/10.3390/su141811374

Kfle, G., Asgedom, G., Goje, T., Abbebe, F., Habtom, L., & Hanes, H. (2020). *The Level of Heavy Metal Contamination in Selected Vegetables and Animal Feed Grasses Grown in Wastewater Irrigated Area, around Asmara, Eritrea*. *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/1359710

Khatoon, N., Ali, S., Hussain, A., Huang, J., Yu, Z., & Liu, H. (2025). Evaluating the Carcinogenic and Non-Carcinogenic Health Risks of Heavy Metals Contamination in Drinking Water, Vegetables, and Soil from Gilgit-Baltistan, Pakistan. *Toxics*, *13*(1). https://doi.org/10.3390/toxics13010005

Khatoon, N., Ali, S., Hussain, A., Huang, J., Yu, Z., & Liu, H. (2025b). Evaluating the Carcinogenic and Non-Carcinogenic Health Risks of Heavy Metals Contamination in Drinking Water, Vegetables, and Soil from Gilgit-Baltistan, Pakistan. *Toxics*, *13*(1). https://doi.org/10.3390/toxics13010005

Mihaileanu, R. G., Neamtiu, I. A., Fleming, M., Pop, C., Bloom, M. S., Roba, C., Surcel, M., Stamatian, F., & Gurzau, E. (2019). Assessment of heavy metals (total chromium, lead, and manganese) contamination of residential soil and homegrown vegetables near a former chemical manufacturing facility in Tarnaveni, Romania. *Environmental Monitoring and Assessment*, *191*(1). https://doi.org/10.1007/s10661-018-7142-0

Moghtaderi, T., Alamdar, R., Rodriguez-Seijo, A., Naghibi, S. J., & Kumar, V. (2020). Ecological risk assessment and source apportionment of heavy metal contamination in urban soils in Shiraz, Southwest Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, *13*(16), 797.

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Mohanty, S., Nayak, R. K., Jena, B., Padhan, K., & Mohapatra, K. K. (2023). Heavy metal contamination in rice, pulses, and vegetables from CKDu-endemic areas in Cuttack district, India: a health risk assessment. *Frontiers in Environmental Science*, *11*(October), 1248373. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1248373

Musilová, J., Franková, H., Lidiková, J., Chlpík, J., Vollmannová, A., Árvay, J., Harangozo, Ľ., Urminská, J., & Tóth, T. (2022). Impact of old environmental burden in the Spiš region (Slovakia) on soil and home-grown vegetable contamination, and health effects of heavy metals. *Scientific Reports*, *12*(1), 1–17. https://doi.org/10.1038/s41598-022-20847-8

Najmi, A., Albratty, M., Al-rajab, A. J., Alhazmi, H. A., Javed, S. A., Ahsan, W., Rehman, Z., Hassani, R., & Alqahtani, S. S. (2023). Heavy Metal Contamination in Leafy Vegetables Grown in Jazan Region of Saudi Arabia: Assessment of Possible Human Health Hazards. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(2984), 1–18.

Nargis, A., Habib, A., Islam, M. N., Chen, K., Sarker, M. S. I., Al-Razee, A. N. M., Liu, W., Liu, G., & Cai, M. (2022). Source identification, contamination status and health risk assessment of heavy metals from road dusts in Dhaka, Bangladesh. *Journal of Environmental Sciences (China)*, *121*(February), 159–174. https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.09.011

Njayou, M. M., Ngounouno Ayiwouo, M., & Ngounouno, I. (2023). Trace metal contamination status in soils of the abandoned gold mining district of Bindiba (East Cameroon): Pollution indices assessment, multivariate analysis and; geostatistical approach. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *21*(1), 143–155. https://doi.org/10.1007/s40201-023-00849-y

Nour, H. E., Ramadan, F., Shammari, N. El, & Tawfik, M. (2022). *Status and contamination assessment of heavy metals pollution in coastal sediments, southern Kuwait*. *9*(April), 538–552. https://doi.org/10.3934/environsci.2022032

Nowar, A., Islam, M. H., Islam, S., Jubayer, A., & Nayan, M. M. (2024). A systematic review on heavy metals contamination in Bangladeshi vegetables and their associated health risks. *Frontiers in Environmental Science*, *12*(August). https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1425286

Obiri-Nyarko, F., Duah, A. A., Karikari, A. Y., Agyekum, W. A., Manu, E., & Tagoe, R. (2021). Assessment of heavy metal contamination in soils at the Kpone landfill site, Ghana: Implication for ecological and health risk assessment. *Chemosphere*, *282*(December 2020), 131007. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131007

Oruko, R. O., Edokpayi, J. N., Msagati, T. A. M., Tavengwa, N. T., Ogola, H. J. O., Ijoma, G., & Odiyo, J. O. (2021). Investigating the chromium status, heavy metal contamination, and ecological risk assessment via tannery waste disposal in sub-Saharan Africa (Kenya and South Africa). *Environmental Science and Pollution Research*, *28*, 42135–42149.

Otim, E. O., Zirintunda, G., Matama, K., Otim, E. O., Zirintunda, G., & Matama, K. (2021). Investigating vegetable contamination in indigent communities by heavy metals: a case of food safety in Bushenyi, Uganda. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, *33*(1), 292–300. https://doi.org/10.1080/26395940.2021.1984851

Qi, H., Zhao, B., Li, L., Chen, X., An, J., & Liu, X. (2020). Heavy metal contamination and ecological risk assessment of the agricultural soil in Shanxi Province, China. *R. Soc. Open Sci*, *7*(200538).

Rahim, N., Noor, A., Kanwal, A., Tahir, M. M., & Yaqub, A. (2024a). Assessment of heavy metal contamination in leafy vegetables: implications for public health and regulatory measures. *Environmental Monitoring and Assessment*, *196*(8), 0–20. https://doi.org/10.1007/s10661-024-12855-0

Soodmand, A., Ebrahimi, S., & Kiani, F. (2025). Monitoring and assessment of contamination and ecological risk of heavy Monitoring and assessment of contamination and ecological risk of heavy metals in Hezarpich surface soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *22*(2), 773–786. https://doi.org/10.1007/s13762-024-05852-w

Tahir, M. A., Shaheen, H., & Rathinasabapathi, B. (2022). Health risk associated with heavy metal contamination of vegetables grown in agricultural soil of Siran valley, Mansehra, Pakistan—a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(8), 551. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10210-9

Tasleem, S., Masud, S., Habib, S. S., Naz, S., Fazio, F., Aslam, M., Ullah, M., & Attaullah, S. (2023). Environmental Science and Pollution Research Investigation of the incidence Investigation of the incidence of heavy metals contamination in commonly used fertilizers applied to vegetables, fish ponds, and human health risk assessments. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(45), 100646-100659. https://doi.org/10.1007/s11356-023-29480-y

Thongyuan, S., Khantamoon, T., Aendo, P., & Binot, A. (2020a). Human and Ecological Risk Assessment: An International Ecological and health risk assessment, carcinogenic and non-carcinogenic effects of heavy metals contamination in the soil from municipal solid waste landfill in Central, Thailand. *Human and Ecological Risk Assessment*, *27*(4), 1–21.

Thongyuan, S., Khantamoon, T., Aendo, P., & Binot, A. (2020). Human and Ecological Risk Assessment: An International Ecological and health risk assessment, carcinogenic and non-carcinogenic effects of heavy metals contamination in the soil from municipal solid waste landfill in Central, Thailand. *Human and Ecological Risk Assessment*, *27*(4), 1–21.

Tomno, R. M., Nzeve, J. K., Mailu, S. N., Shitanda, D., & Waswa, F. (2020). Heavy metal contamination of water, soil and vegetables in urban streams in Machakos municipality, Kenya. *Scientific African*, *9*, e00539–e00539. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00539

Ullah, I., Ditta, A., Imtiaz, M., Mehmood, S., Rizwan, M., Rizwan, M. S., Jan, A. U., & Ahmad, I. (2020). Evaluación de los riesgos ecológicos y para la salud de la contaminación por metales pesados: un estudio de caso de suelos agrícolas en Thall, Dir-Kohistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, *192*(12).

Wang, M., Liu, R., Lu, X., Zhu, Z., Wang, H., Jiang, L., Liu, J., & Wu, Z. (2018). Heavy Metal Contamination and

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Ecological Risk Assessment of Swine Manure Irrigated Vegetable Soils in Jiangxi Province, China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *100*(5), 634–640. https://doi.org/10.1007/s00128-018-2315-7

Yang, J., Ma, S., Zhou, J., Song, Y., & Li, F. (2018). Heavy metal contamination in soils and vegetables and health risk assessment of inhabitants in Daye, China. *Journal of International Medical Research*, *46*(8), 3374–3387. https://doi.org/10.1177/0300060518758585

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP