



Studi Literatur Cemaran Logam Berat Timbal (Pb) pada Pangan: Sumber dan Metode Analisisnya.

Deagi Taufik Satria^{1*}, Lilis Tuslinah Sadikin¹, Indra¹

¹ Program Studi Sarjana Farmasi, Universitas Bakti Tunas Husada, Tasikmalaya, Indonesia

*Corresponding author: taufikdeagi@gmail.com

Abstract

Background: Lead (Pb) contamination in food is an important issue because Pb is non-degradable, easily accumulates in living tissues, and may cause chronic adverse health effects. Lead can enter food through environmental contamination, the use of agricultural chemicals and food processing and packaging. **Objective:** This study aims to obtain an analytical method for Pb in food with the lowest LoD and LoQ values and to describe Pb contamination levels in food. **Methods:** This study employed a descriptive literature review approach. Articles were retrieved from scientific databases and selected based on inclusion criteria, namely publications within the last five years that discussed Pb contamination in food and reported method validation parameters, including LoD and LoQ values. A total of 12 articles were selected and analyzed comparatively to determine the analytical method with the best sensitivity and selectivity and to describe Pb contamination levels. **Results:** The results showed that the ICP-MS method had the lowest LoD-LoQ values, with LoD ranging from 6.783×10^{-6} to 1.5922×10^{-5} ppm and LoQ ranging from 2.0556×10^{-5} to 4.8284×10^{-5} ppm in cannabinoid-based food products. The highest Pb concentration was reported in purple eggplant ranging from 3.50 to 3.96 mg/kg. **Conclusion:** ICP-MS is the most sensitive analytical method for Pb determination in food, particularly in cannabinoid-based food products. Pb contamination in food indicates that purple eggplant has the highest Pb level, exceeding the maximum limits established by BPOM RI Regulation (No. 09 of 2022) and the Codex Alimentarius (2024).

Keywords: Lead, Food, Contamination, Method Validation, Literature Review.

Abstrak

Pendahuluan: Cemaran logam berat timbal (Pb) pada pangan merupakan isu penting karena bersifat *non-degradable*, mudah terakumulasi dalam jaringan organisme hidup, dan berpotensi menimbulkan efek kronis terhadap kesehatan. Timbal dapat masuk ke dalam pangan melalui kontaminasi lingkungan, penggunaan bahan kimia pertanian, serta proses pengolahan dan pengemasan. **Tujuan:** Studi ini bertujuan untuk memperoleh metode analisis Pb dalam pangan dengan nilai *LoD* dan *LoQ* terkecil serta mengetahui gambaran kadar cemaran Pb dalam pangan. **Metode:** Metode ini merupakan studi literatur dengan pendekatan deskriptif. Artikel diperoleh melalui penelusuran basis data ilmiah dan diseleksi berdasarkan kriteria inklusi berupa publikasi lima tahun terakhir yang membahas cemaran Pb pada pangan serta melaporkan parameter validasi metode analisis berupa nilai *LoD* dan *LoQ*. Dari proses seleksi diperoleh 12 artikel yang dianalisis secara komparatif untuk menentukan metode analisis yang memiliki sensitivitas dan selektivitas terbaik serta mengetahui gambaran kadar cemaran pada Pb. **Hasil:** Hasil studi menunjukkan bahwa metode ICP-MS memiliki nilai *LoD-LoQ* paling rendah yaitu *LoD* pada rentang $6,783 \times 10^{-6}$ - $1,5922 \times 10^{-5}$ ppm dan *LoQ* pada rentang $2,0556 \times 10^{-5}$ - $4,8284 \times 10^{-5}$ ppm pada produk pangan berbasis kanabinoid sedangkan kadar Pb tertinggi dilaporkan pada terong ungu (3,50-3,96 mg/kg). **Kesimpulan:** Metode dengan nilai *LoD* dan *LoQ* paling kecil adalah ICP-MS dan cemaran Pb pada pangan menunjukkan bahwa terong ungu memiliki kadar Pb tertinggi. Nilai tersebut melebihi batas yang ditetapkan menurut Peraturan BPOM RI No. 09 Tahun 2022 tentang batas maksimum cemaran timbal (Pb) dan menurut Codex Alimentarius Tahun 2024.

Kata kunci: Timbal, Pangan, Cemaran, Validasi metode, Studi literatur.

PENDAHULUAN

Keamanan pangan memiliki peran penting dalam upaya menjamin kualitas hidup masyarakat. Salah satu masalah yang sering ditemukan dalam pangan adalah cemaran logam berat, terutama timbal (Pb). Logam berat seperti timbal bersifat *non-degradable*, mudah terakumulasi dalam jaringan organisme hidup, dan dapat menimbulkan efek kronis yang membahayakan seperti kerusakan sistem saraf, ginjal dan penurunan fungsi kognitif, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak dan ibu hamil (Generalova *et al.*, 2025).

Cemaran timbal pada pangan masih ditemukan pada berbagai jenis pangan yang dikonsumsi di sejumlah negara. Sayuran berdaun, makanan laut, serta produk gula-gula di Italia dilaporkan mengandung kadar timbal yang relatif tinggi dengan rata-rata asupan harian mencapai 0,155µg/kg berat badan per hari (Malavolti *et al.*, 2020). Selain itu, kontaminasi timbal pada beras dan sayuran di Tiongkok juga berkaitan dengan aktivitas industri yang berpotensi meningkatkan risiko kesehatan apabila dikonsumsi dalam jangka panjang (X. Huang *et al.*, 2022).

Dalam rantai produksi dan distribusi pangan di Indonesia, potensi masuknya cemaran timbal masih sulit dihindari, terutama pada bahan pangan segar yang bersentuhan langsung dengan lingkungan. Sayuran lalapan yang dipasarkan di pasar tradisional dan supermarket di Yogyakarta diketahui mengandung timbal dengan konsentrasi berkisar antara 0,418 hingga 1,575mg/kg, nilai tersebut melampaui batas maksimum yang ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia, yaitu 0,2mg/kg untuk sayuran (Bella *et al.*, 2023). Pada bahan pangan asal laut, ikan konsumsi seperti kembung, tuna, dan tongkol dari wilayah Cilacap juga menunjukkan kandungan timbal diatas ambang batas 0,3mg/kg sesuai ketentuan Badan Pengawas Obat dan Makanan (Fitriana *et al.*, 2022; BPOM, 2022).

Analisis kadar timbal dalam pangan dilakukan menggunakan berbagai metode yang telah berkembang dan digunakan secara luas. Beberapa metode yang umum diterapkan meliputi *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS), dan *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES). Masing-masing metode tersebut memiliki karakteristik dan keunggulan tersendiri, terutama dalam hal sensitivitas, ketepatan analisis, serta efisiensi waktu pengujian (Lestiani *et al.*, 2023).

Dalam proses analisis timbal dalam pangan, dibutuhkan metode yang tidak hanya sensitif dan selektif, tetapi juga tervalidasi secara ilmiah. Validasi metode analisis merupakan proses sistematis yang bertujuan untuk memastikan bahwa metode tersebut mampu menghasilkan data yang akurat, presisi, dan dapat direproduksi secara konsisten sesuai dengan tujuan pengujian (Shinde & Khulbe, 2023).

Tanpa proses validasi yang memadai, hasil pengujian berisiko menimbulkan interpretasi yang keliru, yang pada akhirnya dapat memengaruhi ketepatan kebijakan maupun tindakan yang diambil oleh industri pangan. Oleh karena itu, evaluasi terhadap metode analisis logam berat tidak hanya mencakup kecanggihan teknologi yang digunakan, tetapi juga harus menilai sejauh mana metode tersebut telah divalidasi dan memenuhi standar yang berlaku, seperti yang ditetapkan dalam SNI maupun oleh AOAC (Lan *et al.*, 2023).

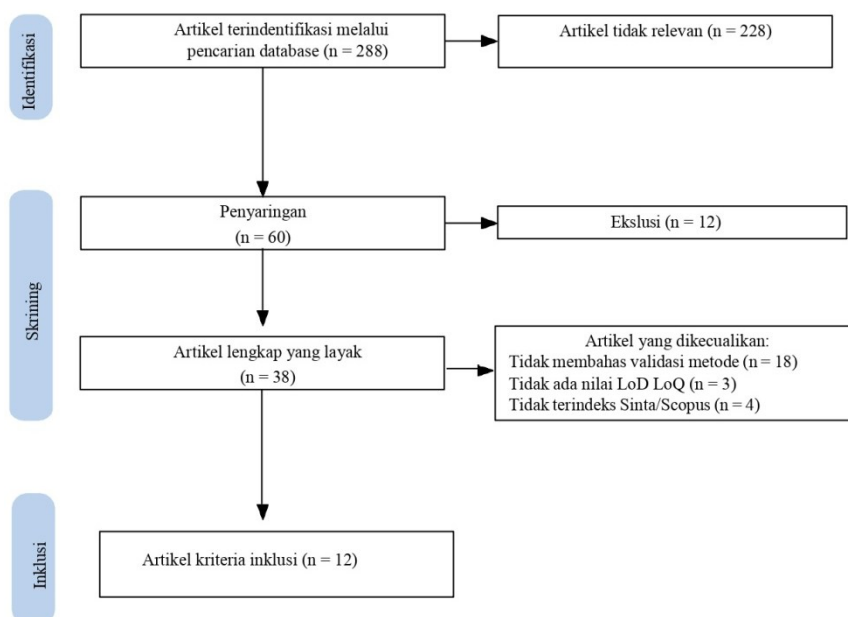
Masih terbatasnya kajian yang secara menyeluruh membahas sumber-sumber cemaran timbal serta metode analisis yang digunakan, khususnya dalam konteks pangan di Indonesia. Kurangnya kajian yang memadukan kedua aspek tersebut secara komprehensif menunjukkan adanya kebutuhan untuk menyusun telaah pustaka yang tidak hanya merangkum berbagai sumber kontaminasi, tetapi juga meninjau metode analisis yang tersedia dan relevan digunakan dalam pengawasan pangan, serta mengaitkannya dengan perbedaan kadar timbal antar komoditas pangan. Kajian ini dibatasi pada sumber cemaran timbal dalam pangan, tanpa membahas logam berat lainnya (Fajrianshah *et al.*, 2024).

Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan studi literatur untuk mengetahui metode analisis yang memiliki selektivitas dan sensitivitas yang terbaik serta memberikan gambaran kadar cemaran Pb dalam pangan. Keterbatasan kajian yang secara khusus membahas kedua aspek tersebut secara terpadu menunjukkan perlunya pengumpulan informasi terkini melalui studi literatur yang bersifat komprehensif. Melalui kajian ini, diharapkan dapat diperoleh dasar ilmiah yang mendukung upaya peningkatan pengawasan keamanan pangan serta perlindungan kesehatan masyarakat.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan studi literatur dengan pendekatan deskriptif. Artikel diperoleh melalui penelusuran basis data ilmiah menggunakan perangkat lunak *Harzing's Publish or Perish* yang terhubung dengan *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *PubMed*, *MDPI*, dan *Wiley* dengan kata kunci "*method validation*", "*heavy metal*", "*lead (Pb)*", "*food sample*", "*LoD*", "*LoQ*", dan "*analytical method*".

Artikel diseleksi berdasarkan kriteria inklusi berupa publikasi lima tahun terakhir (2020-2025) yang membahas cemaran timbal (Pb) pada pangan, merupakan artikel penelitian eksperimental, serta melaporkan parameter validasi metode berupa nilai *LoD* dan *LoQ*. Kriteria eksklusi meliputi artikel *literature review* dan artikel di luar bahasa Indonesia dan Inggris. Proses identifikasi, skrining, dan inklusi artikel disajikan dalam diagram alur pemilihan artikel. Dari proses seleksi diperoleh 12 artikel yang dianalisis secara komparatif untuk memperoleh selektivitas dan sensitivitas yang terbaik serta mengetahui gambaran kadar cemaran Pb dalam pangan berdasarkan sumber kontaminasinya.



Gambar 1. Proses seleksi pemilihan jurnal

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Analisis Studi Literatur

Sampel Pangan	Sumber Potensi Cemar	Metode Analisis	LoD (ppm)	LoQ (ppm)	Kadar Pb	Referensi
Rumput laut kering (nori)	Air laut yang tercemar & proses pengolahan	ICP-OES	$2,0 \times 10^{-4}$	$7,0 \times 10^{-4}$	Pb < LoQ pada seluruh sampel	(Ahmed et al., 2024)
Minyak nabati	Metabolisme tanaman dan teknik pengolahan	AAS	0,4	1,33	3 sampel melebihi batas FAO/WHO sebesar 0,1 mg/L. yaitu N+Su+P (0,27 mg/L), N+Se+P (0,12 mg/L), dan N+Se+Su (0,11 mg/L)	(Yohannes et al., 2024)
Daun singkong, bayam, kangkung	Pencemaran yang dihasilkan dari buangan limbah pertambangan	F-AAS	0,021	0,050	7 dari 9 sampel melebihi batas SNI 7387:2009 (0,5 mg/kg). sedangkan 2 sampel, Bayam II (0,46 mg/kg) dan Bayam III (0,15 mg/kg), masih di bawah batas aman	(Kurniaty et al., 2024)
Lipid / Minyak ikan	Polusi lingkungan perairan	ICP-MS	$3,1 \times 10^{-5}$	$1,03 \times 10^{-4}$	Seluruh sampel < 0,1 mg/kg menurut European Pharmacopeia	(Jayakody et al., 2024)
Terong ungu (<i>Solanum melongena</i> L.)	Pupuk fosfat, pestisida, emisi kendaraan, serta air dan tanah yang tercemar.	AAS	FB : 15,2868 PR : 9,13428	FB : 50,9559 PR : 30,4476	Kadar Pb melampaui batas aman. FB = 3,5066 mg/kg PR = 3,957 mg/kg. BPOM No. 5 Tahun 2018: Pb $\leq 0,2$ mg/kg	(Nugraha, 2024)
Produk perikanan	Air limbah yang mencemari laut	ICP-MS	0,001	0,004	Seluruh sampel < batas Codex (0,3 mg/kg)	(Kim et al., 2023)



Minuman cair, bubuk, coklat, teh berbasis kanabinoid	Proses penanaman, produksi, dan pengemasan	ICP-MS	Minuman cair: $7,095 \times 10^{-6}$ Bubuk : $1,1178 \times 10^{-5}$ Coklat : $6,783 \times 10^{-6}$ Teh : $1,5922 \times 10^{-5}$	Minuman cair: $2,1501 \times 10^{-5}$ Bubuk : $3,3873 \times 10^{-5}$ Coklat : $2,0556 \times 10^{-5}$ Teh : $4,8284 \times 10^{-5}$	1 sampel bubuk menunjukkan kadar Pb yang tinggi (3,189 mg/kg) Codex (0,3 mg/kg) sehingga melebihi batas aman.	(Catenza & Donkor, 2022)
Krustasea & sefalopoda	Lingkungan perairan melalui bioakumulasi dan biomagnifikasi	ICP-MS	0,018	0,061	Pb < BDL	(Kumar et al., 2022)
Permen (jeli, lolipop, permen keras)	Bahan baku yang digunakan dalam pembuatannya, kontaminasi dari peralatan, serta kontaminasi dari lingkungan selama penyimpanan dan pengangkutan bahan baku.	ICP-AES	2,25	7,50	Seluruh sampel < batas EC (1 mg/kg)	(Manousi & Zachariadis, 2021)
Ikan, krustasea, bivalvia, sefalopoda	Kontaminasi lingkungan	GF-AAS	Fish : 0,0334 Crustaceans : 0,0205 Bivalves: 0,0480 Cephalopods : 0,0465	Fish : 0,1114 Crustaceans : 0,0683 Bivalves: 0,1598 Cephalopods : 0,1549	Pb < BDL	(Perelonia et al., 2021)
MP-ASI	Proses pengolahan, proses produksi,	AAS	0,10	0,30	3 dari 5 sampel melebihi batas SNI (1,14 mg/kg). CBM 1,44 mg/L,	(Taufiq et al., 2020)

faktor pengemasan					CKI 1,48 mg/L proAKB 2,00 mg/L	
Minuman nonkarbonasi & minuman berkarbonasi	Air, proses pengemasan logam, bahan tambahan alami.	AAS	$4,3 \times 10^{-4}$	0,00129	Pb 13,66–33,51 ppb (< batas FDA 50 ppb)	(Alkhatib & Ataie, 2020)

Berdasarkan Tabel 1. metode ICP-MS menunjukkan nilai *LoD* dan *LoQ* yang paling kecil, pada sampel yakni minuman cair ($7,095 \times 10^{-6}$ dan $2,1501 \times 10^{-5}$ ppm), bubuk ($1,1178 \times 10^{-5}$ dan $3,3873 \times 10^{-5}$ ppm), coklat ($6,783 \times 10^{-6}$ dan $2,0556 \times 10^{-5}$ ppm), serta teh ($1,5922 \times 10^{-5}$ dan $4,8284 \times 10^{-5}$ ppm) (Catenza & Donkor, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa ICP-MS memiliki tingkat sensitivitas dan selektivitas yang lebih baik dibandingkan dua metode lainnya. Sesuai dengan prinsip kerjanya, setelah sampel diubah menjadi aerosol dan masuk ke plasma *torch* yang berisi plasma argon, atom Pb terionisasi menjadi Pb^+ . Ion tersebut kemudian dipisahkan berdasarkan rasio massa terhadap muatan (*m/z*) dan diterima oleh detektor sebagai sinyal ion. Karena sinyal ditentukan oleh jumlah ion Pb^+ yang langsung mencapai detektor, teknik ini mampu menghasilkan sinyal yang jauh lebih kuat dan stabil bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah *parts per trillion* (ppt) (Nelms, 2005; Skoog *et al.*, 2016; Kubachka *et al.*, 2026).

Penelitian yang dilakukan oleh Ahmed *et al.*, (2024) melaporkan nilai *LoD-LoQ* yaitu $2,0 \times 10^{-4}$ ppm dan $7,0 \times 10^{-4}$ ppm pada sampel nori, sementara Manousi & Zachariadis, (2021) mendapatkan *LoD* dan *LoQ* yang jauh lebih tinggi, yaitu 2,25 ppm dan 7,50 ppm pada sampel permen. Perbedaan ini menunjukkan bahwa deteksi Pb menggunakan ICP-OES/AES memang kurang sensitif dibandingkan ICP-MS. Pada metode ini, Pb dideteksi melalui emisi cahaya dari atom yang tereksitasi di dalam plasma, sehingga kestabilan sinyal sangat dipengaruhi oleh intensitas emisi dan pemilihan panjang gelombang yang bebas dari gangguan spektral. Jika panjang gelombang yang digunakan berdekatan dengan emisi unsur lain, sinyal dapat tertutupi atau terganggu sehingga respons menjadi kurang stabil (Boss & Fredeen, 1997).

Di antara ketiga metode yang dibandingkan AAS merupakan teknik dengan sensitivitas paling rendah. Penelitian yang dilakukan Nugraha *et al.*, (2024) pada sampel terong ungu jenis flamboyan (FB) melaporkan nilai *LoD* 15,28 ppm dan *LoQ* 30,44 ppm, sedangkan pada terong ungu jenis puring (PR) diperoleh *LoD* 9,13 ppm dan *LoQ* 50,95 ppm. Nilai yang besar ini berkaitan dengan keterbatasan instrumen yang hanya mampu membaca konsentrasi pada skala ppm. Berdasarkan informasi dari hasil penelitian ketidakstabilan aerosol diakibatkan terlepasnya selang pemipetan atau kondisi nyala yang tidak optimal dapat menurunkan efisiensi nebulisasi dan atomisasi dalam AAS. Akibatnya, sinyal absorbansi menjadi tidak konsisten, sehingga akurasi dan presisi pengukuran terganggu, dan *LoD* maupun *LoQ* cenderung meningkat (Harris, 2010).

Perbedaan antara nilai *LoD* dan *LoQ* tersebut menunjukkan bahwa kinerja setiap metode tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi operasional instrumen, tetapi juga oleh karakteristik dasar detektornya dalam mengenali dan merespons sinyal analit. Setiap detektor memiliki sensitivitas, selektivitas, serta prinsip pembentukan sinyal yang berbeda, sehingga kemampuan mendeteksi analit pada konsentrasi rendah juga tidak sama (Kruse *et al.*, 2024).

Pada detektor berbasis *mass spectrometry* (MS), sinyal dihasilkan melalui pemisahan ion berdasarkan rasio massa terhadap muatan (*m/z*). Prinsip ini memberikan selektivitas sangat tinggi terhadap unsur jejak dan memungkinkan pendeteksian hingga tingkat sangat rendah, sebagaimana

dilaporkan Jayakody *et al.*, (2024) dengan nilai LoD $3,1 \times 10^{-5}$ ppm dan LoQ $1,03 \times 10^{-4}$ ppm pada minyak ikan. Kemampuan membedakan ion dengan massa yang sangat berdekatan menjadikan ICP-MS lebih sensitif dibandingkan teknik berbasis optik (M. Huang & Li, 2025).

Detektor *optical emission spectroscopy* (OES) sinyal diperoleh dari intensitas cahaya yang dipancarkan atom atau ion Pb tereksitasi pada panjang gelombang tertentu. Sensitivitas metode ini sangat bergantung pada kestabilan emisi dan pemilihan panjang gelombang, sehingga LoD dan LoQ umumnya lebih tinggi (Senila, 2024). Hal ini terlihat pada penelitian Manousi & Zachariadis, (2021) yang melaporkan LoD 2,25 ppm dan LoQ 7,50 ppm pada sampel permen.

Pada *flame* AAS (FAAS) dan *graphite furnace* AAS (GFAAS) sinyal diperoleh melalui pengukuran absorbansi cahaya oleh atom bebas. FAAS menunjukkan sensitivitas paling rendah karena atomisasi terjadi di nyala api sehingga jumlah atom bebas yang tersedia relatif sedikit (Perelonja *et al.*, 2021). Sebaliknya, GFAAS memberikan sensitivitas lebih tinggi karena atomisasi berlangsung dalam ruang tertutup dengan suhu terkontrol, sehingga atom Pb bertahan lebih lama dan interaksi dengan cahaya lebih optimal (Skoog *et al.*, 2016). Hal ini sesuai pada data Tabel 1, di mana nilai LoD – LoQ GFAAS dilaporkan lebih rendah dibanding FAAS pada analisis sayuran dan produk perikanan.

Dalam analisis logam berat persiapan sampel melalui digestasi merupakan langkah penting untuk memastikan bahwa analit berada dalam bentuk homogen dan larut, sehingga memberikan nilai yang representatif. Ini diperlukan karena logam berat tidak hanya terikat secara afinitas pada matriks sampel, tetapi juga dapat membentuk senyawa kompleks dengan unsur lain dalam jaringan. Pelepasan senyawa kompleks tersebut memerlukan kondisi kimia tertentu, termasuk pemilihan jenis asam atau reagen, pengaturan suhu, tekanan, dan lamanya proses, agar seluruh logam larut dan dapat dianalisis dengan akurat (El Hosry *et al.*, 2023).

Berdasarkan dua belas artikel yang dianalisis, teknik destruksi sampel dikelompokkan menjadi dua metode utama, yaitu *microwave-assisted acid digestion* dan *wet acid digestion* konvensional. Sebagian besar penelitian yang menggunakan ICP-MS dan ICP-OES menerapkan teknik *microwave digestion* dengan HNO_3 sebagai pelarut utama dan H_2O_2 sebagai oksidator pada suhu 180–200°C selama 20–45 menit, sementara salah satu penelitian menambahkan HCl sesuai karakteristik matriks minyak ikan. Kombinasi ini menghasilkan larutan akhir yang jernih dan stabil sehingga seluruh Pb berada dalam bentuk ion Pb^{2+} terlarut. Kondisi tersebut meningkatkan kestabilan sinyal dan tercermin pada nilai LoD – LoQ yang lebih rendah, khususnya pada kombinasi *microwave digestion* dan ICP-MS (Zuma *et al.*, 2025).

Sebaliknya, penelitian yang menggunakan metode berbasis AAS menerapkan *wet acid digestion* dengan pemanasan konvensional pada suhu 120–150°C selama 60–120 menit menggunakan HNO_3 dan H_2O_2 . Teknik ini bekerja dalam sistem terbuka sehingga efisiensi destruksi lebih rendah dan memungkinkan masih tersisa Pb yang belum teroksidasi sempurna menjadi Pb^{2+} . Akibatnya, sinyal menjadi kurang stabil dan berdampak pada meningkatnya nilai LoD – LoQ , sebagaimana terlihat pada sampel minyak nabati, terong ungu, serta analisis sayuran menggunakan FAAS yang menunjukkan variabilitas sinyal lebih besar dibandingkan teknik digestasi tertutup berbasis *microwave* (Putri *et al.*, 2025). Keberadaan Pb dalam pangan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan selama budidaya, penangkapan, pengolahan, dan distribusi, dengan sumber paparan berasal dari tanah, air, udara, maupun sarana produksi. Pada tanaman, paparan dipengaruhi oleh kondisi tanah dan air irigasi, pada pangan perairan oleh kualitas laut atau sungai, serta pada pangan olahan oleh kebersihan bahan baku dan proses pengolahan, sehingga kadar Pb antar penelitian menunjukkan rentang yang tidak seragam (Abdelmonem *et al.*, 2025).

Berdasarkan keseluruhan artikel yang dikaji, terong ungu menunjukkan kadar Pb tertinggi, yakni pada jenis flamboyan (FB) sebesar 3,5066 mg/kg dan jenis puring (PR) 3,957 mg/kg. Tingginya kadar tersebut diduga berkaitan dengan akumulasi paparan dari berbagai faktor lingkungan selama fase pertumbuhan, seperti penggunaan pupuk fosfat yang mengandung logam berat alami, paparan lalu lintas, serta kualitas air irigasi yang kurang terkontrol, yang melalui mekanisme penyerapan dan translokasi menyebabkan Pb terakumulasi pada jaringan buah (Alloway, 1995; Rahman *et al.*, 2024).

Jika dibandingkan dengan batas maksimum cemaran Pb menurut Peraturan BPOM RI No. 09 Tahun 2022 sebesar 0,2 mg/kg serta Codex Alimentarius Tahun 2024 sebesar 0,05 mg/kg untuk kelompok *fruiting vegetables*, kadar Pb pada terong ungu tersebut berada jauh di atas ambang yang diperbolehkan dan menunjukkan bahwa sampel tidak layak dikonsumsi karena berisiko menimbulkan dampak kesehatan jangka panjang (Shi *et al.*, 2023).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi literatur terhadap 12 artikel yang dianalisis, metode analisis dengan nilai *LoD* dan *LoQ* paling kecil adalah ICP-MS, khususnya pada produk pangan berbasis kanabinoid seperti sampel minuman cair, bubuk, cokelat, dan teh, yang menunjukkan bahwa ICP-MS memiliki selektivitas dan sensitivitas terbaik dalam mendeteksi Pb pada konsentrasi sangat rendah. Gambaran kadar cemaran Pb pada pangan menunjukkan bahwa terong ungu memiliki kadar Pb tertinggi, yaitu berkisar 3,50–3,96 mg/kg, dan nilai tersebut melebihi batas maksimum yang ditetapkan menurut Peraturan BPOM RI No. 09 Tahun 2022 tentang batas maksimum cemaran timbal (Pb) serta Codex Alimentarius Tahun 2024, sehingga tidak layak dikonsumsi. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan pengawasan cemaran logam berat pada hasil pertanian oleh Kementerian Pertanian melalui Badan Karantina Indonesia (Barantin) dan Dinas Pertanian daerah, terutama melalui penguatan regulasi terhadap pupuk dan pestisida agar bebas logam berat serta pemantauan berkala terhadap keamanan pangan hasil pertanian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan masukan selama proses penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelmonem, B. H., Kamal, L. T., Elbaz, R. M., Khalifa, M. R., & Abdelnaser, A. (2025). From Contamination to Detection: The Growing Threat of Heavy Metals. *Heliyon*, 11, e41713. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41713>
- Ahmed, H., Al-Rasheed, M., & Abd Almoaen, R. (2024). ICP-OES method for the determination of trace metals in nori seaweed: Application for the analysis of different samples from different countries. *Food Analytical Methods*, 17, 523–533. <https://doi.org/10.1007/s12161-024-02587-9>
- Alkhatib, R., & Ataie, M. (2020). Determination of trace lead and cadmium in canned soft drinks in Syria. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 12(Suppl. 2), S764–S769. https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_357_19
- Alloway, B. J. (1995). *Heavy Metals in Soils* (2 (ed.)). Blackie Academic & Professional.
- Bella, T. S. C., Rahardjo, D., & Kisworo, K. (2023). Konsentrasi pencemar timbal (Pb) pada sayur lalapan di pasar tradisional dan supermarket di Kota Yogyakarta. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 16(2), 55–61. <https://doi.org/10.29238/sanitasi.v16i2.1865>
- Boss, C. B., & Fredeen, K. J. (1997). *Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*. PerkinElmer.
- Catenza, K. F., & Donkor, K. K. (2022). Determination of heavy metals in cannabinoid-based food products using microwave-assisted digestion and ICP-MS. *Food Analytical Methods*, 15, 2537–2546. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02315-1>
- El Hosry, L., Sok, N., Richa, R., Al Mashtoub, L., Cayot, P., & Bou-Maroun, E. (2023). Sample Preparation and Analytical Techniques in the Determination of Trace Elements in Food: A Review. *Foods*, 12(4), 895. <https://doi.org/10.3390/foods12040895>
- Fajrianshah, E. A., Purwana, R., & Mellowati, J. (2024). Heavy metal contamination and food safety — Emerging paradigms from a bibliometric analysis of six decades of research —. *Engineering in Agriculture, Environment & Food*, 17(1), 12–26. https://doi.org/10.37221/eaef.17.1_12

- Fitriana, D., Sukmawati, S., Rochman, N., Royani, R., Prasadi, O., & Triwuri, N. A. (2022). Maximum Consumption Limits of Fish Catches Tainted by Lead (Pb) in 3 Fish Auction Markets (FAM) in Cilacap, Indonesia. *Jurnal Presipitasi*, 18(1), 21–27. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v18i1.21-27>
- Generalova, A., Davidova, S., & Satchanska, G. (2025). The Mechanisms of Lead Toxicity in Living Organisms. *Journal of Xenobiotics*, 15, 146. <https://doi.org/10.3390/jox15050146>
- Harris, D. C. (2010). *Quantitative Chemical Analysis* (8 (ed.)). W. H. Freeman and Company.
- Huang, M., & Li, X. (2025). Quantitative Detection of Toxic Elements in Food Samples by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). *Processes*, 13, 3361. <https://doi.org/10.3390/pr13103361>
- Huang, X., Zhao, B., Wu, Y., Tan, M., Shen, L., Feng, G., Yang, X., Chen, S., Xiong, Y., Zhang, E., & Zhou, H. (2022). The lead and cadmium content in rice and risk to human health in China: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 17(12), e0278686. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278686>
- Jayakody, K. S., Edirisinghe, R. K. B., Senevirathne, S. A., & Senarathna, L. (2024). Validation of the analytical procedure for quantitative determination of four trace metals (As, Cd, Pb, and Hg) in fish lipids using inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). *Mass Spectrometry Letters*, 15(3), 149–157. <https://doi.org/10.5478/MSL.2024.15.3.149>
- Kim, D.-Y., Jeon, H., & Shin, H.-S. (2023). Risk assessment and determination of arsenic and heavy metals in fishery products in Korea. *Foods*, 12(20), 3750. <https://doi.org/10.3390/foods12203750>
- Kruse, J., Wörner, J., Schneider, J., Dörksen, H., & Pein-Hackelbusch, M. (2024). Methods for Estimating the Detection and Quantification Limits of Key Substances in Beer Maturation with Electronic Noses. *Sensors*, 24(11), 3520. <https://doi.org/10.3390/s24113520>
- Kubachka, K., Witkowski, M., & Hurt, D. (2026). Detection of Lead (II) Chromate in Cinnamon. *Applied Spectroscopy Practica*, 4(1). <https://doi.org/10.1177/27551857261425269>
- Kumar, D., Kumar, V., Patnala, P. K., & Kumari, S. (2022). Heavy metals in seafood: Method validation and evolution by inductively coupled plasma mass spectrometry in accordance with Commission Regulation (EC) 333/2007, 582/2016. *Rasayan Journal of Chemistry*, 15(4), 2632–2641. <https://doi.org/10.31788/RJC.2022.1546653>
- Kurniaty, R., Adiyana, T. M. D., Yusuf, M., & Mahmudi, M. (2024). Assessing the weight metal contamination of timbal (Pb), cadmium (Cd), and mercury (Hg) in vegetables in the agricultural region of Aceh Jaya using atomic absorption spectrophotometry method. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 7(3), 300–307. <https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v7i3.448>
- Lan, G., Li, X., Yao, J., Yu, X., Liu, Q., Qiu, C., & Mao, X. (2023). Rapid and sensitive determination of Se and heavy metals in foods using electrothermal vaporization inductively coupled plasma mass spectrometry with a novel transportation system. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1201801. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1201801>
- Lestiani, D. D., Syahfitri, W. Y. N., Adventini, N., Kurniawati, S., Damastuti, E., Biswas, B., & Santoso, M. (2023). Impacts of a lead smelter in East Java, Indonesia: degree of contamination, spatial distribution, ecological risk, and health risk assessment of potentially toxic elements in soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1165. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11745-1>
- Makanan, B. P. O. dan. (2022). *Peraturan BPOM Nomor 9 Tahun 2022 tentang Persyaratan Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan*. BPOM.
- Malavolti, M., Fairweather-Tait, S. J., Malagoli, C., Vescovi, L., Vinceti, M., & Filippini, T. (2020). Lead exposure in an Italian population: Food content, dietary intake and risk assessment. *Food Research International*, 137, 109370. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109370>
- Manousi, N., & Zachariadis, G. A. (2021). Development and validation of an ICP-AES method for the determination of toxic and nutrient metals in candies: Application for the analysis of different samples from the Greek market. *Applied Sciences*, 11(22), 10599.

- <https://doi.org/10.3390/app112210599>
- Nelms, S. M. (2005). *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry Handbook*. Wiley-Blackwell.
- Nugraha, A. (2024). Analysis of Heavy Metal Cadmium (Cd) and Lead (Pb) in Eggplant (*Solanum melongena* L.) in Pontianak City by Using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). *Biology, Medicine, & Natural Product Chemistry*.
- Perelonia, K. B. S., Benitez, K. C. D., Banicod, R. J. S., Tadifa, G. C., Cambia, F. D., & Montojo, U. M. (2021). Validation of an analytical method for the determination of cadmium, lead and mercury in fish and fishery resources by graphite furnace and cold vapor atomic absorption spectrometry. *Food Control*, 130, 108363.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108363>
- Putri, I. S., Damara, D. S., Akifah, M. N., & Utami, M. R. (2025). Article Review: Evaluation of the Effectiveness of Sample Preparation Comparison in Atomic Absorption Spectrophotometry (SSA) Instrument for Analyzing Lead Metal. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 8(3), e672.
<https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v8i3.672>
- Rahman, S. U., Qin, A., Zain, M., Mushtaq, Z., Mehmood, F., Riaz, L., Naveed, S., Ansari, M. J., Saeed, M., Ahmad, I., & Shehzad, M. (2024). Pb uptake, accumulation, and translocation in plants: Plant physiological, biochemical, and molecular response: A review. *Heliyon*, 10, e27724.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27724>
- Senila, M. (2024). Recent Advances in the Determination of Major and Trace Elements in Plants Using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry. *Molecules*, 29(13), 3169.
<https://doi.org/10.3390/molecules29133169>
- Shi, J., Qian, W., Jin, Z., Zhou, Z., Wang, X., & Yang, X. (2023). Evaluation of Soil Heavy Metals Pollution and the Phytoremediation Potential of Copper-Nickel Mine Tailings Ponds. *PLOS ONE*, 18(3), e0277159.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277159>
- Shinde, S. S., & Khulbe, P. (2023). Analytical Method Validation: A Comprehensive Review of Current Practices. *South Eastern European Journal of Public Health*, XXI.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2016). *Principles of Instrumental Analysis*. Cengage Learning.
- Taufiq, M., Kiptiyah, K., & Muti'ah, R. (2020). Pengembangan dan validasi prosedur pengukuran logam timbal (Pb) dalam makanan pendamping air susu ibu menggunakan spektroskopi serapan atom. *Alchemy: Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1), 25–37. <https://doi.org/10.20961/alchemy.16.1.35190.25-37>
- Yohannes, L., Feleke, H., Melaku, M. S., & Amare, D. E. (2024). Analysis of heavy metals and minerals in edible vegetable oils produced and marketed in Gondar City, Northwest Ethiopia. *BMC Public Health*, 24, 2204.
<https://doi.org/10.1186/s12889-024-19695-0>
- Zuma, M. C., Mdluli, N. S., Sihlahla, M., & Mketi, N. (2025). Determination of essential and non-essential elements of commercialized rooibos tea samples using microwave-assisted digestion prior to analysis using inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy: Human health risk assessments. *Food Chemistry Advances*, 9, 101161.
<https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.101161>