

Analisis Cemaran Plumbum (Pb) pada Manisan Buah Kaleng Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom

Analysis of Lead (Pb) Contamination in Canned Candied Fruits Using Atomic Absorption Spectrophotometry

Deby Ayu Anggraeni*, Suharsih & Junaidi Parinduri

Prodi D3 Analis Kesehatan, Universitas Nahdlatul Ulama Sumatera Utara, Indonesia

Diterima: 15 Maret 2026; Direview: 17 Maret 2026; Disetujui: 27 Maret 2026

*Corresponding Email: Bebeavuanggraeni@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara penghasil buah tropis yang melimpah sehingga pengolahan buah menjadi produk olahan, seperti manisan, banyak dilakukan untuk memperpanjang masa simpan. Salah satu bentuk produk olahan tersebut adalah manisan buah dalam kemasan kaleng. Namun, kemasan kaleng berpotensi menyebabkan migrasi logam berat ke dalam produk pangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar cemaran logam berat plumbum (Pb) pada manisan buah rambutan, peach, dan leci dalam kemasan kaleng. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan analisis menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Sampel berupa manisan buah rambutan, peach, dan leci kemasan kaleng yang diperoleh dari supermarket di daerah Kutai Kartanegara. Sampel didestruksi melalui proses pengabuan pada suhu 500°C, kemudian dianalisis menggunakan SSA pada panjang gelombang 324,8 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh sampel mengandung logam Pb dengan kadar yang relatif rendah. Kadar Pb pada manisan rambutan berkisar 0,0014–0,0015 mg/kg, pada manisan peach sebesar 0,0015 mg/kg, dan pada manisan leci berkisar 0,0016–0,0017 mg/kg. Nilai tersebut masih berada di bawah batas maksimum cemaran logam berat yang ditetapkan BPOM RI yaitu 0,1 mg/kg. Dengan demikian, manisan buah kemasan kaleng yang dianalisis masih tergolong aman untuk dikonsumsi berdasarkan parameter cemaran Pb.

Kata kunci: Plumbum (Pb); Manisan Buah; Kemasan Kaleng; Spektrofotometri Serapan Atom.

Abstract

Indonesia is a country with abundant tropical fruit production; therefore, fruit processing into preserved products such as candied fruit is widely carried out to extend shelf life. One form of processed fruit product is candied fruit packaged in cans. However, canned packaging has the potential to cause heavy metal migration into food products. This study aimed to determine the level of lead (Pb) contamination in canned candied rambutan, peach, and lychee. This research employed a quantitative descriptive approach with analysis using the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method. The samples consisted of canned candied rambutan, peach, and lychee obtained from supermarkets in the Kutai Kartanegara area. The samples were digested through an ashing process at 500°C and subsequently analyzed using AAS at a wavelength of 324.8 nm. The results showed that all samples contained Pb at relatively low levels. The Pb concentration in candied rambutan ranged from 0.0014–0.0015 mg/kg, in candied peach was 0.0015 mg/kg, and in candied lychee ranged from 0.0016–0.0017 mg/kg. These values were below the maximum permissible limit for heavy metal contamination established by the Indonesian Food and Drug Authority (BPOM), which is 0.1 mg/kg. Therefore, the analyzed canned candied fruit products are considered safe for consumption based on the Pb contamination parameter.

Keywords: Lead (Pb); Candied Fruit; Canned Packaging; Atomic Absorption Spectrophotometry.

How to Cite: Anggraeni, D.A., Suharsih, & Parinduri, J. (2026). Analisis Cemaran Plumbum (Pb) pada Manisan Buah Kaleng Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom. *Journal of Natural Sciences*. 7 (1): 100-107



PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki keanekaragaman buah-buahan dengan produksi yang melimpah. Buah merupakan sumber vitamin, mineral, serta senyawa bioaktif yang penting bagi kesehatan manusia. Namun demikian, buah memiliki sifat mudah rusak (*perishable*) sehingga memerlukan teknologi pengolahan yang tepat untuk memperpanjang masa simpan serta meningkatkan nilai tambah produk pangan. Salah satu bentuk pengolahan buah yang banyak dilakukan adalah pembuatan manisan buah yang memanfaatkan penambahan gula sebagai bahan pengawet alami sehingga dapat memperpanjang umur simpan produk (Mukherjee *et al.*, 2023).

Seiring perkembangan teknologi pangan dan industri pengemasan, produk manisan buah saat ini tidak hanya dipasarkan dalam bentuk tradisional tetapi juga dalam kemasan modern seperti kemasan kaleng yang lebih praktis, higienis, dan memiliki masa simpan lebih lama. Penggunaan kemasan kaleng dalam industri pangan bertujuan untuk melindungi produk dari kontaminasi mikroorganisme, udara, dan cahaya sehingga kualitas produk dapat dipertahankan selama penyimpanan dan distribusi produk pangan (Apriliyanto & Angge, 2023; Seref & Cufaoglu, 2025).

Meskipun demikian, penggunaan kemasan logam juga memiliki potensi risiko terhadap keamanan pangan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bahan kemasan dapat mengalami interaksi dengan produk pangan sehingga memungkinkan terjadinya migrasi senyawa kimia dari kemasan ke dalam makanan. Proses migrasi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis bahan kemasan, suhu penyimpanan, waktu kontak, serta komposisi kimia makanan yang dikemas (Han *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2025).

Logam berat merupakan salah satu kontaminan lingkungan yang banyak mendapat perhatian dalam bidang keamanan pangan. Logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) dapat masuk ke dalam rantai makanan melalui berbagai jalur lingkungan seperti tanah, air, dan udara yang terkontaminasi. Kontaminasi logam berat pada bahan pangan dapat terjadi sejak tahap produksi bahan baku, proses pengolahan, hingga proses pengemasan produk pangan (Kartikorini & Ariana, 2022; Seref *et al.*, 2025).

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik bagi manusia. Paparan timbal dalam jangka panjang dapat menyebabkan gangguan sistem saraf, anemia, kerusakan ginjal, serta gangguan perkembangan pada anak-anak. Logam berat ini juga memiliki sifat bioakumulatif sehingga dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh



manusia apabila terpapar secara terus-menerus melalui konsumsi makanan yang terkontaminasi (Hidayati *et al.*, 2020; Sudarningsih *et al.*, 2022).

Beberapa penelitian di Indonesia juga menunjukkan bahwa produk makanan dan minuman kemasan kaleng masih berpotensi mengandung cemaran logam berat dalam jumlah kecil. Penelitian oleh Kunsah *et al.* (2021) melaporkan bahwa kadar timbal (Pb) pada beberapa sampel makanan dan minuman kaleng berkisar antara 0,01–0,027 mg/kg, meskipun nilai tersebut masih berada di bawah batas maksimum yang diperbolehkan. Penelitian lain tentang cemaran logam berat pada makanan kaleng dapat berasal dari bahan kemasan maupun bahan baku yang digunakan dalam proses produksi pangan (Adiansyah & Ritonga, 2017; Suhaili, 2020).

Dalam rangka melindungi masyarakat dari bahaya cemaran logam berat dalam pangan, pemerintah Indonesia melalui Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) telah menetapkan batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan olahan melalui Peraturan BPOM Nomor 9 Tahun 2022. Peraturan ini menetapkan batas maksimum kandungan logam berat seperti arsen (As), timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan timah (Sn) pada berbagai jenis pangan olahan guna menjamin keamanan pangan bagi masyarakat.

Analisis logam berat dalam bahan pangan umumnya dilakukan menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA/AAS). Metode ini banyak digunakan karena memiliki sensitivitas yang tinggi dan mampu mendeteksi logam dalam konsentrasi sangat kecil (*trace level*). Selain itu, metode AAS juga memiliki tingkat akurasi dan presisi yang baik sehingga sering digunakan dalam analisis logam berat pada sampel pangan dan lingkungan (Siringoringo *et al.*, 2022; Astika, 2023; Ratih *et al.*, 2025).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kadar cemaran logam berat plumbum (Pb) pada manisan buah rambutan, peach, dan leci dalam kemasan kaleng yang beredar di wilayah Kutai Kartanegara. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai keamanan produk pangan kemasan kaleng serta menjadi referensi bagi masyarakat dan lembaga pengawas pangan dalam upaya pengendalian cemaran logam berat pada produk pangan olahan.



METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di UPTD Laboratorium Kesehatan Daerah Provinsi Kalimantan Timur pada bulan Juli 2024. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif laboratorik yang bertujuan untuk mengetahui kadar cemaran logam berat plumbum (Pb) pada manisan buah kemasan kaleng. Penentuan kadar plumbum (Pb) pada sampel dilakukan menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) setelah proses destruksi sampel melalui pengabuan dan pelarutan dengan asam nitrat.

Populasi dalam penelitian ini adalah produk manisan buah dalam kemasan kaleng yang beredar di wilayah Kutai Kartanegara. Sampel yang dianalisis terdiri dari manisan buah rambutan, peach, dan leci yang diperoleh dari supermarket di wilayah tersebut. Setiap jenis sampel dianalisis dari dua kemasan kaleng sehingga diperoleh total enam unit sampel.

Prosedur Penelitian

Sampel terlebih dahulu dihaluskan kemudian ditimbang sebanyak 5gram dan dimasukkan ke dalam furnace untuk proses pengabuan pada suhu 500°C hingga diperoleh abu berwarna putih. Abu yang dihasilkan kemudian didestruksi menggunakan aquadest dan larutan asam nitrat (HNO₃) 5%, kemudian dipanaskan pada hotplate hingga larutan menjadi jernih. Larutan yang diperoleh disaring dan dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom pada panjang gelombang 324,8 nm untuk menentukan kadar plumbum (Pb) dalam sampel.

Analisis Data

Data hasil pengukuran kadar plumbum (Pb) disajikan dalam bentuk tabel dan dianalisis secara deskriptif. Nilai kadar Pb yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan batas maksimum cemaran logam berat yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Republik Indonesia, yaitu sebesar 0,1 mg/kg pada produk pangan olahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis kadar plumbum (Pb) pada manisan buah rambutan, peach, dan leci kemasan kaleng disajikan pada Tabel 1 berikut.



Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Kadar Plumbum (Pb) pada Manisan Buah Rambutan, Peach dan Leci Kemasan

No	Sampel	Kadar Plumbum (Pb) mg/kg	
		I	II
1	Manisan Rambutan	0.0015	0.0014
2	Manisan Peach	0.0015	0.0015
3	Manisan Leci	0.0016	0.0017

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa seluruh sampel manisan buah kemasan kaleng mengandung logam berat plumbum (Pb) dengan kadar yang relatif rendah. Kadar Pb pada manisan rambutan berkisar antara 0,0014–0,0015 mg/kg, pada manisan peach sebesar 0,0015 mg/kg, sedangkan pada manisan leci berkisar antara 0,0016–0,0017 mg/kg. Nilai ini menunjukkan bahwa kandungan Pb pada seluruh sampel relatif seragam dan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antar jenis buah. Keseragaman kadar tersebut mengindikasikan bahwa sumber cemaran kemungkinan berasal dari faktor yang relatif sama dalam rantai produksi, baik dari bahan baku, proses pengolahan, maupun jenis kemasan yang digunakan.

Apabila dibandingkan dengan batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan olahan menurut Peraturan BPOM RI Nomor 9 Tahun 2022, yaitu 0,1 mg/kg, maka kadar Pb yang ditemukan dalam penelitian ini masih berada jauh di bawah batas maksimum yang diperbolehkan sehingga produk manisan buah tersebut dapat dikategorikan aman untuk dikonsumsi. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem pengolahan dan distribusi produk telah mampu menjaga kualitas pangan sesuai standar keamanan yang berlaku.

Keberadaan logam Pb pada makanan kemasan kaleng dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain migrasi logam dari kemasan, kontaminasi bahan baku, serta proses pengolahan pangan. Kemasan makanan yang terbuat dari logam berpotensi melepaskan unsur logam ke dalam produk pangan melalui proses migrasi kimia terutama apabila terjadi kerusakan pada lapisan pelindung bagian dalam kemasan atau terjadi kontak langsung antara makanan dan logam kemasan. Proses migrasi senyawa kimia dari kemasan ke dalam pangan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu penyimpanan, lama penyimpanan, komposisi makanan, serta kondisi kemasan (Zhang *et al.*, 2025).

Keseragaman kadar Pb pada ketiga jenis manisan buah menunjukkan bahwa proses produksi cenderung berada dalam kondisi yang terkontrol, sehingga variasi cemaran logam berat dapat ditekan pada tingkat yang sangat rendah. Hal ini mengindikasikan



bahwa standar sanitasi, kualitas bahan tambahan, serta penggunaan air dalam proses produksi kemungkinan telah memenuhi prinsip keamanan pangan. Selain itu, karakteristik produk manisan yang memiliki kadar gula tinggi dan pH tertentu juga berperan dalam mempengaruhi stabilitas kemasan serta laju migrasi logam. Penggunaan lapisan pelindung (coating) pada bagian dalam kaleng terbukti mampu mengurangi interaksi langsung antara logam dan produk pangan, sehingga migrasi Pb dapat diminimalkan. Kondisi penyimpanan yang stabil serta tidak adanya kerusakan fisik pada kemasan turut berkontribusi dalam menjaga kualitas produk selama distribusi (Zhang *et al.*, 2025).

Selain berasal dari kemasan, kontaminasi logam berat juga dapat berasal dari bahan baku yang digunakan dalam pembuatan produk pangan. Tanaman buah dapat menyerap logam berat dari tanah, air, dan udara yang terkontaminasi sehingga logam tersebut dapat masuk ke dalam rantai makanan. Kontaminasi logam berat dalam pangan telah menjadi isu global karena logam seperti Pb, Cd, dan Hg memiliki sifat toksik serta dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh manusia melalui proses bioakumulasi (Mukherjee *et al.*, 2023; Sweta & Singh, 2024).

Logam berat seperti timbal memiliki dampak toksik terhadap kesehatan manusia apabila terakumulasi dalam tubuh dalam jumlah besar. Paparan timbal dalam jangka panjang dapat menyebabkan gangguan sistem saraf, anemia, gangguan fungsi ginjal, serta gangguan perkembangan pada anak. Oleh karena itu, pemantauan cemaran logam berat dalam pangan sangat penting untuk menjaga keamanan pangan dan melindungi kesehatan masyarakat (Sarker *et al.*, 2021).

Metode SSA/AAS banyak digunakan dalam analisis logam berat karena memiliki sensitivitas yang tinggi dan mampu mendeteksi logam dalam konsentrasi yang sangat kecil. Selain itu, metode AAS juga memiliki tingkat akurasi dan presisi yang baik sehingga sering digunakan dalam analisis logam pada sampel pangan, lingkungan, dan produk farmasi (Damastuti *et al.*, 2021; Mustatea *et al.*, 2024). Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode AAS mampu mendeteksi logam berat dalam jumlah sangat kecil hingga tingkat jejak (trace level), sehingga metode ini sangat efektif digunakan dalam analisis cemaran logam berat pada bahan pangan (Suryaningsih *et al.*, 2021; Nugraha, 2024).

Cemaran logam berat pada makanan kemasan juga menunjukkan bahwa meskipun kandungan logam berat umumnya masih berada di bawah ambang batas yang



diperbolehkan, keberadaan logam berat tetap perlu diawasi secara berkala karena logam tersebut dapat bermigrasi dari kemasan makanan ke dalam produk pangan selama proses penyimpanan (Rahim *et al.*, 2025). Meskipun hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kadar Pb masih berada dalam batas aman, pengawasan terhadap cemaran logam berat dalam pangan tetap perlu dilakukan secara berkelanjutan. Hal ini penting mengingat sifat logam berat yang dapat terakumulasi dalam tubuh manusia dalam jangka panjang dan berpotensi menimbulkan efek toksik apabila dikonsumsi secara terus-menerus dalam jumlah tertentu.

Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa manisan buah kemasan kaleng yang beredar di wilayah penelitian telah memenuhi standar keamanan pangan yang ditetapkan oleh BPOM. Namun, pemantauan berkala terhadap cemaran logam berat tetap diperlukan sebagai langkah preventif dalam menjamin keamanan pangan serta melindungi kesehatan masyarakat secara berkelanjutan.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa manisan buah rambutan, peach, dan leci dalam kemasan kaleng mengandung cemaran logam berat plumbum (Pb) dengan kisaran 0,0014–0,0017 mg/kg. Nilai tersebut masih berada jauh di bawah batas maksimum cemaran logam berat yang ditetapkan oleh BPOM RI yaitu 0,1 mg/kg, sehingga produk manisan buah kemasan kaleng yang dianalisis dalam penelitian ini masih tergolong aman untuk dikonsumsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiansyah, A., & Ritonga, A. H. (2017). Analisa Kadar Logam Kadmium (Cd) Pada Ikan Kaleng Sarden Yang Diperjualbelikan Di Supermarket Daerah Padang Bulan Medan. *Jurnal Analis Laboratorium Medik*, 2(2).
- Apriliyanto, B. A., & Angge, I. C. (2023). Uji Coba Pembuatan Karya Kriya Logam Dari Kaleng Bekas Kemasan Makanan. *Jurnal Seni Rupa*, 11(1), 9-22.
- Astika, T. (2023). Analisis Kadar Logam Berat Timbal Pada Garam Konsumsi Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *PARADIGM: Journal Of Multidisciplinary Research and Innovation*, 1(02), 97-102.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM). (2022). Peraturan BPOM Nomor 9 Tahun 2022 tentang Persyaratan Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan. Jakarta: BPOM RI.
- Damastuti, E., Adventini, N., Oginawati, K., Niken Syahfitri, W. Y., Kurniawati, S., & Santoso, M. (2021, January). Preliminary assessment of heavy metals in street vended foods in the surrounding of elementary school area in Bandung city, Indonesia. In *IOP conference series: Materials science and engineering* (Vol. 1011, No. 1, p. 012069). IOP publishing.
- Eti, S. A., Islam, M. S., Shourove, J. H., Saha, B., Ray, S. K., Sultana, S., ... & Rahman, M. M. (2023). Assessment of heavy metals migrated from food contact plastic packaging: Bangladesh perspective. *Heliyon*, 9(9).



- Han, Y., Ryu, K., Song, N., Seo, J., Kang, I., Chung, H. J., & Park, R. (2024). Potential migration and health risks of heavy metals and metalloids in take-out food containers in South Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(2), 139.
- Hidayati, N. V., Prudent, P., Asia, L., Vassalo, L., Torre, F., Widowati, I., ... & Doumenq, P. (2020). Assessment of the ecological and human health risks from metals in shrimp aquaculture environments in Central Java, Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(33), 41668-41687.
- Kartikorini, N., & Ariana, D. (2022). Edukasi Bahaya Cemaran Logam Berat (Pb, Cd, Zn) Pada Makanan Dan Minuman Kemasan Kaleng. *Humanism: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 195-201.
- Kunsah, B., Kartikorini, N., & Ariana, D. (2021). Analisa cemaran logam berat (Pb, Cd, Zn) pada makanan dan minuman kemasan kaleng dengan menggunakan metode spektrofotometri serapan atom (SSA). *The Journal of Muhammadiyah Medical Laboratory Technologist*, 4(1), 100-110.
- Mukherjee, A. G., Renu, K., Gopalakrishnan, A. V., Veeraraghavan, V. P., Vinayagam, S., Paz-Montelongo, S., ... & Ganesan, R. (2023). Heavy metal and metalloid contamination in food and emerging technologies for its detection. *Sustainability*, 15(2), 1195.
- Mustatea, G., Mocanu, A. L., Stroe, C. A., & Ungureanu, E. L. (2024). Toxic Metals Migration from Plastic Food Contact Materials in Romania: A Health Risk Assessment. *Applied Sciences*, 14(23), 10985.
- Nugraha, F., Oktaviani, S. M., & Luliana, S. (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*, 13(1), 83-90.
- Perdana, W. W., & Al-ghifari, T. P. U. (2019). Analisis logam berat di kemasan kaleng. *Jurnal Agroscience*, 9(2), 215-223.
- Rahim, F. A., Keyon, A. S. A., & Kamaruddin, A. F. (2025). Assessment of Tin and Lead in Commercial Canned Foods and Associated Health Risk Indicators. *Journal of Food Composition and Analysis*, 108400.
- Ratih, P. D., Nisa, I. K., & Hidayati, N. R. (2025). Analisis Kandungan Logam Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Lipstik Berwarna Merah menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). *Jurnal Kolaboratif Sains*, 8(12), 7473-7482.
- Seref, N., & Cufaoglu, G. (2025). Food packaging and chemical migration: a food safety perspective. *Journal of food science*, 90(5), e70265.
- Seref, N., & Cufaoglu, G. (2025). Food packaging and chemical migration: a food safety perspective. *Journal of food science*, 90(5), e70265.
- Siringoringo, V. T., Pringgenies, D., & Ambariyanto, A. (2022). Kajian kandungan logam berat merkuri (Hg), tembaga (Cu), dan timbal (Pb) pada Perna viridis di Kota Semarang. *Journal of Marine Research*, 11(3), 539-546.
- Sudarningsih, S., Fahrudin, F., Lailiyanto, M., Noer, A. A., Husain, S., Siregar, S. S., ... & Ridwan, I. (2022). Assessment of soil contamination by heavy metals: A case of vegetable production center in Banjarbaru Region, Indonesia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(1), 249-257.
- Suhaili, R. (2020). Pengaruh Lama Penyimpanan Ikan Sarden Kemasan Kaleng terhadap Kadar Logam Pb dan Cu. *Chempublish Journal*, 5(2), 130-139.
- Suryaningsih, N. W., Rahmadani, R., & Hidayah, N. (2021, September). Analysis Of Heavy Metal Mercury (Hg) In Fish In The Central Katingan River Using An Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). In *International Conference on Health and Science* (Vol. 1, No. 1, pp. 452-463).
- Sweta, & Singh, B. (2024). A review on heavy metal and metalloid contamination of vegetables: addressing the global safe food security concern. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 104(16), 4762-4783.
- Zhang, Q., Huo, Y., Yang, Q., Zhao, F., Li, M., & Ju, J. (2025). Migration of chemical substances from packaging materials to food. *Food Chemistry*, 485, 144544.