



Penetapan Cemaran Logam Berat Kadmium dan Timbal pada Beras (*Oryza sativa* L.) dari Kabupaten Sidrap dengan Metode ICP-MS

A. Asmawati Saad^{1*}, Indryanti², Dedy Ma'ruf³

¹⁻³Program Studi DIII Farmasi, Institut Ilmu Kesehatan Pelamonia Makassar, Indonesia

*Penulis Korespondensi: asmasaad88@gmail.com¹

Abstract: Rice is a major staple food and an important source of carbohydrates. Its safety can be affected by environmental contaminants, including lead (Pb) and cadmium (Cd), which may enter agricultural areas through fertilizers, pesticides, industrial activities, and other waste sources. This study evaluated the occurrence and concentrations of Cd and Pb in rice originating from Sidrap Regency. Rice samples were collected from four geographic directions and analyzed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The measured Cd concentrations were 0.0387 µg/g in sample A (North), 0.0401 µg/g in sample B (West), 0.0238 µg/g in sample C (South), and 0.0207 µg/g in sample D (East). All Cd concentrations were below the applicable maximum limit. Pb concentrations were 0.1093 µg/g, 0.1255 µg/g, and 0.1661 µg/g for samples A, B, and C, respectively, whereas sample D contained 0.3219 µg/g and exceeded the maximum limit. Thus, Cd concentrations in all examined samples complied with the applicable standard, while the Pb concentration in sample D indicates contamination that warrants continued monitoring of rice safety.

Keywords: Cadmium; ICP-MS; Lead; Rice; Sidrap

Abstrak: Beras merupakan bahan pangan pokok dan sumber karbohidrat penting bagi masyarakat. Keamanannya perlu diperhatikan karena tanaman padi dapat terpapar kontaminan lingkungan, termasuk logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd), yang dapat berasal dari aktivitas pertanian maupun sumber pencemar di sekitar lahan. Penelitian ini bertujuan menentukan kadar Cd dan Pb pada beras yang berasal dari Kabupaten Sidrap. Sampel beras diambil dari empat arah wilayah dan dianalisis menggunakan inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Kadar Cd yang diperoleh masing-masing sebesar 0,0387 µg/g pada sampel A (Utara), 0,0401 µg/g pada sampel B (Barat), 0,0238 µg/g pada sampel C (Selatan), dan 0,0207 µg/g pada sampel D (Timur). Seluruh kadar Cd masih berada di bawah batas maksimum yang digunakan dalam penelitian. Untuk Pb, kadar pada sampel A, B, dan C berturut-turut adalah 0,1093 µg/g, 0,1255 µg/g, dan 0,1661 µg/g, sedangkan sampel D menunjukkan kadar 0,3219 µg/g sehingga melampaui batas maksimum. Dengan demikian, seluruh sampel memenuhi batas Cd, tetapi sampel D menunjukkan adanya cemaran Pb yang perlu menjadi perhatian dalam pemantauan keamanan beras.

Kata kunci: Beras; ICP-MS; Kadmium; Sidrap; Timbal.

1. LATAR BELAKANG

Beras menempati posisi penting dalam pola konsumsi pangan masyarakat Indonesia dan menjadi salah satu sumber utama asupan energi. Kondisi tersebut menjadikan mutu dan keamanan beras sebagai aspek yang perlu diperhatikan dalam penyediaan pangan. Indonesia memiliki sejumlah wilayah sentra produksi padi, salah satunya Kabupaten Sidrap, Sulawesi Selatan. Daerah ini dikenal sebagai wilayah produksi padi dengan luas sawah sekitar 47.947,3 hektar dan pola tanam yang memungkinkan panen hingga tiga kali dalam satu tahun (Jusnawati et al., 2020). Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa Kabupaten Sidenreng Rappang merupakan wilayah dengan aktivitas produksi pertanian yang penting di Sulawesi Selatan (Badan Pusat Statistik Kabupaten Sidenreng Rappang, 2025).

Secara umum, mutu beras tidak hanya ditentukan oleh karakteristik fisik dan proses pascapanen, tetapi juga oleh kondisi lingkungan dan praktik budidaya. Jenis pupuk, pestisida, air irigasi, serta karakteristik tanah dapat memengaruhi ketersediaan dan perpindahan unsur logam dari lingkungan ke tanaman. Logam berat dapat berada di tanah dan air, kemudian diserap melalui akar serta ditranslokasikan ke bagian tanaman, termasuk gabah dan beras (Zakaria et al., 2021; Hindarwati et al., 2023; Li et al., 2024).

Kadmium (Cd) dan timbal (Pb) merupakan unsur yang perlu mendapat perhatian dalam pengawasan keamanan pangan karena dapat terakumulasi pada tanaman dan masuk ke rantai pangan. Berbagai sumber antropogenik, termasuk aktivitas pertanian, pupuk, pestisida, limbah, dan aktivitas transportasi, dapat berkontribusi terhadap keberadaan logam berat di lingkungan pertanian (Zakaria et al., 2021; Uddin et al., 2021). Penelitian mengenai sistem tanah–beras menunjukkan bahwa faktor lingkungan dapat memengaruhi kadar Cd dan Pb pada tanaman padi, meskipun pola hubungan dapat berbeda antarwilayah (Chen et al., 2022; Li et al., 2024).

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa cemaran logam berat pada beras masih menjadi isu keamanan pangan. Rasydy et al. (2021) melaporkan adanya logam berat pada beras yang ditanam di daerah industri, sedangkan Wahyuningsih et al. (2023) menemukan Pb pada beras lokal dan impor dengan variasi konsentrasi yang perlu diperhatikan. Budianta et al. (2023) juga melaporkan keberadaan Cd pada sistem tanah dan tanaman padi di Indonesia. Penelitian berskala nasional terbaru menunjukkan bahwa kadar Cd dan Pb pada beras Indonesia bervariasi antarprovinsi, dengan sebagian sampel melampaui batas tertentu (Putri et al., 2025).

Secara internasional, meta-analisis dan kajian terbaru juga menunjukkan bahwa kontaminasi Cd dan Pb pada beras dapat bervariasi luas dan berhubungan dengan karakteristik lingkungan, budidaya, serta proses pengolahan (Huang et al., 2022; Ngo et al., 2024; Yang et al., 2023). Kajian mengenai Cd pada beras menegaskan pentingnya pengelolaan budidaya dan pemantauan sumber cemaran untuk menjaga keamanan pangan (Xia et al., 2024). Selain itu, analisis menggunakan ICP-MS telah digunakan untuk menentukan unsur toksik pada beras karena mampu mendeteksi unsur pada konsentrasi rendah (Alrashdi et al., 2024; Saad, Adnan, & Putri, 2023).

Data mengenai kadar Cd dan Pb pada beras yang berasal dari Kabupaten Sidrap masih terbatas, meskipun daerah tersebut merupakan salah satu wilayah produksi padi penting di Sulawesi Selatan. Budidaya padi di wilayah ini menggunakan berbagai jenis pupuk, antara lain NPK, Phonska, Urea, dan pupuk organik. Intensitas penggunaan bahan pertanian serta kondisi lingkungan, termasuk kualitas air irigasi, dapat menjadi faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemantauan logam berat pada tanah dan tanaman pangan (Hindarwati et al., 2023). Atas

dasar kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menentukan kadar Cd dan Pb pada beras asal Kabupaten Sidrap dengan menggunakan ICP-MS. Data yang diperoleh diharapkan dapat memperkaya informasi mengenai keamanan beras dan mendukung pengawasan terhadap kontaminasi logam berat pada pangan.

2. KAJIAN TEORITIS

Kontaminasi logam berat pada beras dapat terjadi melalui perpindahan unsur dari tanah dan air ke tanaman. Cd dan Pb dapat berada dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman dan selanjutnya diserap oleh akar. Besarnya perpindahan dipengaruhi oleh sifat tanah, pH, bahan organik, kapasitas pertukaran kation, kondisi redoks, serta bentuk kimia unsur di lingkungan (Zakaria et al., 2021; Li et al., 2024).

Cd merupakan salah satu kontaminan yang banyak dikaji pada produksi padi karena dapat terakumulasi pada jaringan tanaman dan berpengaruh terhadap keamanan pangan. Penggunaan pupuk dan karakteristik lingkungan budidaya dapat memengaruhi ketersediaan Cd. Oleh karena itu, strategi pengelolaan lahan dan pemantauan kadar Cd pada gabah atau beras diperlukan untuk mengurangi potensi paparan melalui konsumsi (Uddin et al., 2021; Hussain et al., 2022; Xia et al., 2024).

Pb juga dapat masuk ke sistem pertanian melalui sumber lingkungan dan aktivitas manusia. Variasi kadar Pb pada beras dapat berkaitan dengan kondisi lahan, sumber air, aktivitas permukiman, serta sumber emisi lainnya. Penelitian mengenai beras menunjukkan bahwa konsentrasi logam dapat berbeda antarwilayah sehingga pengujian langsung pada lokasi produksi tetap diperlukan (Huang et al., 2022; Ngo et al., 2024).

Penentuan kadar logam berat menggunakan ICP-MS memiliki keunggulan berupa sensitivitas tinggi dan kemampuan mendeteksi unsur pada konsentrasi rendah. Metode ini telah digunakan pada analisis Cd, Pb, dan unsur toksik lainnya pada sampel beras dalam berbagai penelitian (Alrashdi et al., 2024; Yuliani et al., 2025; Saad et al., 2023). Dalam penelitian ini, ICP-MS digunakan untuk menentukan kadar Cd dan Pb pada empat sampel beras yang mewakili empat arah wilayah pengambilan sampel di Kabupaten Sidrap.

3. METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi ICP-MS, botol semprot, corong, gegep, erlenmeyer 250 mL, neraca analitik, pipet tetes, hot plate, dan botol sampel.

Bahan yang digunakan yaitu beras dari empat wilayah pengambilan sampel, aquades, asam nitrat (HNO_3) pekat, larutan standar logam berat, dan kertas saring Whatman 41.

Preparasi Sampel

Pengambilan sampel dilakukan dari empat arah mata angin, yaitu timur, barat, selatan, dan utara. Selanjutnya, sampel dibawa ke Laboratorium Kesehatan Makassar. Sampel beras ditimbang sekitar 0,5 gram dalam labu erlenmeyer 250 mL dan ditempatkan di lemari asam. Sebanyak 20 mL HNO_3 pekat ditambahkan, kemudian campuran dipanaskan di atas hot plate hingga uap berwarna cokelat berubah menjadi jernih. Setelah uap hilang, campuran dididihkan, disaring menggunakan kertas saring Whatman 41, kemudian ditambahkan air suling hingga volume 50 mL dan dihomogenkan. Sampel selanjutnya disiapkan untuk analisis ICP-MS.

Pembuatan Larutan Standar

Larutan standar yang digunakan adalah 10 ppb, 50 ppb, 100 ppb, 150 ppb, 200 ppb, dan 500 ppb. Larutan standar 10 ppb dibuat dengan mengambil 0,5 mL larutan standar dan memasukkannya ke dalam labu ukur 50 mL, kemudian dicukupkan hingga tanda batas. Larutan 50 ppb dibuat dengan mengambil 2,5 mL larutan standar ke dalam labu ukur 50 mL dan menambahkan air suling hingga tanda batas. Larutan 100 ppb dibuat dengan mengambil 5 mL larutan standar dan mengencerkannya hingga volume 50 mL. Larutan 150 ppb dibuat dengan mengambil 7,5 mL larutan standar dan mengencerkannya hingga volume 50 mL. Larutan 200 ppb dibuat dengan mengambil 10 mL larutan standar dan mengencerkannya hingga volume 50 mL. Larutan 500 ppb dibuat dengan mengambil 25 mL larutan standar dan mengencerkannya hingga volume 50 mL. Seluruh larutan standar kemudian dimasukkan ke alat ICP-MS.

Pengujian ICP-MS

Sampel yang telah dipreparasi diberi kode, disaring, dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Sampel yang telah diproses kemudian dimasukkan ke dalam alat ICP-MS untuk pembacaan kadar Cd dan Pb.

Analisis Kadar Logam Berat

Perhitungan kadar logam berat mengikuti rumus yang digunakan pada penelitian, dengan mempertimbangkan konsentrasi sampel, konsentrasi blanko, dan volume akhir. Keterangan: C Spl = konsentrasi sampel; C Blk = konsentrasi blanko; Vol Akhir = volume akhir.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Tabel 1. Hasil analisis kadar Cd dan Pb pada beras dari empat arah wilayah Kabupaten Sidrap.

No.	Kode Sampel	Parameter	Kadar ($\mu\text{g/g}$)	Keterangan
1	A (Utara)	Cd	0,0387	Aman
1	A (Utara)	Pb	0,1093	Aman
2	B (Barat)	Cd	0,0401	Aman
2	B (Barat)	Pb	0,1255	Aman
3	C (Selatan)	Cd	0,0238	Aman
3	C (Selatan)	Pb	0,1661	Aman
4	D (Timur)	Cd	0,0207	Aman
4	D (Timur)	Pb	0,3219	Tidak aman

Pembahasan

Cemaran logam berat perlu mendapat perhatian karena unsur tersebut dapat bertahan di lingkungan dan mengalami akumulasi pada organisme. Dalam penelitian ini, pengambilan sampel beras dibedakan berdasarkan empat arah wilayah, yaitu utara, barat, selatan, dan timur. Pendekatan ini memberikan gambaran awal mengenai variasi kadar logam berdasarkan lokasi pengambilan sampel.

Tahap preparasi dilakukan dengan menempatkan sekitar 0,5 gram sampel beras ke dalam erlenmeyer 250 mL. Sampel kemudian ditambahkan 20 mL HNO_3 pekat dan diproses di dalam lemari asam. Pemanasan menggunakan hot plate dilakukan hingga uap yang terbentuk menjadi jernih sebagai bagian dari proses destruksi basah. Setelah larutan didinginkan, hasil destruksi disaring menggunakan kertas Whatman 41. Volume larutan kemudian dicukupkan dengan aquadest hingga 50 mL dan dihomogenkan sebelum dilakukan pengukuran Cd dan Pb menggunakan ICP-MS. Penggunaan ICP-MS sesuai dengan pendekatan analisis unsur pada konsentrasi rendah yang banyak diterapkan pada penelitian beras (Alrashdi et al., 2024).

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kadar Cd pada seluruh sampel berada di bawah nilai maksimum yang ditetapkan. Konsentrasi yang diperoleh berturut-turut adalah 0,0387 $\mu\text{g/g}$ pada sampel A, 0,0401 $\mu\text{g/g}$ pada sampel B, 0,0238 $\mu\text{g/g}$ pada sampel C, dan 0,0207 $\mu\text{g/g}$ pada sampel D. Dengan demikian, keempat sampel masih memenuhi batas Cd sebesar 0,1 $\mu\text{g/g}$ menurut SNI 6128:2020. Nilai batas tersebut setara dengan 0,1 mg/kg untuk beras yang dicantumkan pada SNI 6128:2020 (Badan Standardisasi Nasional, 2020).

Hasil analisis Pb memperlihatkan pola yang berbeda. Sampel A, B, dan C masing-masing mengandung 0,1093 $\mu\text{g/g}$, 0,1255 $\mu\text{g/g}$, dan 0,1661 $\mu\text{g/g}$ sehingga masih berada di bawah batas 0,2 $\mu\text{g/g}$. Sebaliknya, sampel D menunjukkan konsentrasi 0,3219 $\mu\text{g/g}$ atau lebih tinggi

daripada batas yang ditetapkan SNI 6128:2020. Temuan ini menunjukkan bahwa pengendalian sumber cemaran Pb perlu menjadi perhatian khusus pada wilayah pengambilan sampel D.

Perbedaan kadar logam antarsampel dapat berkaitan dengan karakteristik lingkungan pada lokasi pengambilan. Faktor seperti jenis tanah, penggunaan pupuk, serta kondisi air irigasi berpotensi memengaruhi ketersediaan logam di lingkungan pertanian. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sifat tanah dan kondisi lingkungan dapat memengaruhi distribusi Cd dan Pb pada sistem tanah–beras (Hindarwati et al., 2023; Li et al., 2024). Penggunaan pupuk juga dapat memengaruhi perilaku Cd pada sistem budidaya padi (Hussain et al., 2022).

Untuk Pb, kedekatan lahan dengan permukiman, jalur transportasi, atau sumber aktivitas manusia dapat menjadi salah satu kemungkinan sumber paparan. Namun, berdasarkan data penelitian ini, faktor penyebab spesifik tingginya Pb pada sampel D belum dapat dipastikan karena penelitian tidak melakukan pengukuran langsung terhadap tanah, air irigasi, atau sumber emisi di lokasi tersebut. Interpretasi hasil karena itu perlu dibatasi pada temuan kadar logam dalam sampel beras.

Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan adanya variasi kadar logam berat pada beras berdasarkan lokasi dan kondisi lingkungan. Wahyuningsih et al. (2023) melaporkan variasi cemaran logam pada beras lokal dan impor, sedangkan Budianta et al. (2023) menunjukkan pentingnya memperhatikan keberadaan Cd pada sistem tanah dan tanaman padi. Kajian yang lebih luas juga menunjukkan bahwa kadar Cd dan Pb pada beras dapat bervariasi antarwilayah dan bahwa pemantauan diperlukan untuk mendukung pengelolaan keamanan pangan (Huang et al., 2022; Ngo et al., 2024).

Penelitian terbaru berskala nasional di Indonesia menunjukkan bahwa kadar Cd dan Pb dalam beras memiliki variasi antarprovinsi dan sebagian sampel dapat melampaui batas tertentu (Yuliani et al., 2025). Hasil tersebut memperkuat pentingnya pemantauan berbasis wilayah, termasuk pada daerah sentra produksi seperti Kabupaten Sidrap. Dengan kadar Pb 0,3219 µg/g pada sampel D, hasil penelitian ini menunjukkan adanya sampel yang melampaui batas 0,2 µg/g dan karena itu perlu ditindaklanjuti melalui pemeriksaan sumber cemaran dan pemantauan pada sampel yang lebih banyak.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beras yang berasal dari Kabupaten Sidrap memiliki kondisi cemaran yang berbeda antarwilayah pengambilan sampel. Kadar Cd pada seluruh sampel masih memenuhi batas maksimum SNI 6128:2020, sedangkan Pb pada sampel D telah melampaui batas yang ditetapkan. Secara rinci, sampel A mengandung Cd 0,0387 µg/g dan Pb

0,1093 µg/g; sampel B masing-masing 0,0401 µg/g dan 0,1255 µg/g; sampel C sebesar 0,0238 µg/g dan 0,1661 µg/g; serta sampel D sebesar 0,0207 µg/g dan 0,3219 µg/g. Penelitian berikutnya disarankan memperluas jumlah lokasi dan sampel serta melakukan pemeriksaan terhadap tanah, air irigasi, dan sumber pencemar di sekitar lokasi untuk membantu menelusuri penyebab variasi kadar logam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pemimpin Institut Ilmu Kesehatan Pelamonia dan Balai Besar Laboratorium Kesehatan yang memberikan dukungan dalam pelaksanaan dan pelaporan penelitian ini.

DAFTAR REFERENSI

- Agustin, Y. S., Syahrani, L. P. W., Taqwim, M. H. A., Arlysia, V., & Herbowo, A. C. F. (2025). Kandungan kadmium (Cd) pada jenis beras C4 Super, C4 Raja, Mentik, dan Rojolele. *ENVIRO: Journal of Tropical Environmental Research*, 26(2), 59. <https://doi.org/10.20961/enviro.v26i2.98161>
- Alrashdi, M. M., Ragazzon-Smith, A., Strashnov, I., & Polya, D. A. (2024). Chemical analysis of toxic elements: Total cadmium, lead, mercury, arsenic and inorganic arsenic in local and imported rice consumed in the Kingdom of Saudi Arabia. *Environmental Geochemistry and Health*, 46(12), 518. <https://doi.org/10.1007/s10653-024-02280-0>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Sidenreng Rappang. (2025). Kabupaten Sidenreng Rappang dalam angka 2025. BPS Kabupaten Sidenreng Rappang.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 6128:2020 beras. Badan Standardisasi Nasional.
- Budianta, D., Suarji, M. A., Napoleon, A., Suntoro, S., Santoso, J., & Bolan, N. (2023). Cadmium in paddy soil and rice crop in Indonesian intensive farming system. *Journal of Smart Agriculture and Environmental Technology*, 1(2), 59–65. <https://doi.org/10.60105/josaet.v1i2.25>
- Chen, X., Chen, F., Sun, S., Li, Y., Li, Y., Mo, H., Li, Z., & Zhuang, P. (2022). Effect of polishing on lead and cadmium bioavailability in rice and its health implications. *Foods*, 11(17), 2718. <https://doi.org/10.3390/foods11172718>
- Hindarwati, Y., Soeprbowati, T. R., Izzati, M., & Hadiyanto, H. (2023). Kontaminan logam berat (Pb, Cd, dan Cu) pada tanah dari pemupukan berbasis jerami padi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1), 8–14. <https://doi.org/10.14710/jil.21.1.8-14>
- Huang, X., Zhao, B., Wu, Y., Tan, M., Shen, L., Feng, G., Yang, X., Chen, S., Xiong, Y., & Zhang, E. (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>
- Hussain, B., Ma, Y., Li, J., Gao, J., Ullah, A., & Tahir, N. (2022). Cadmium in rice is affected by fertilizer-borne chloride and sulfate anions: Long-term field versus pot experiments. *Processes*, 10(7), 1253. <https://doi.org/10.3390/pr10071253>
- Jusnawati, Arifin, & Pata, A. A. (2020). Kontribusi produksi padi sawah daerah sentra SIPILU (Sidrap, Pinrang, Luwu) terhadap produksi padi sawah di Sulawesi Selatan. *Jurnal*

- Agribisnis, 8(2), 46–55.
<http://ejournals.umma.ac.id/index.php/agribis/article/view/786>
- Li, L., Ma, L., Tang, L., Huang, F., Xiao, N., Zhang, L., & Song, B. (2024). Key factors controlling cadmium and lead contents in rice grains of plants grown in soil with different cadmium levels from an area with typical karst geology. *Agronomy*, 14(9), 2076. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092076>
- Min, F., Wang, X., Li, L., et al. (2024). Effects of silicate stabilizers on cadmium reduction and the quality of rice grains in acidic paddy soil. *Scientific Reports*, 14, 20551. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71741-4>
- Ngo, H. T. T., Hang, N. T. T., Nguyen, X. C., Nguyen, N. T. M., Truong, H. B., Liu, C., La, D. D., Kim, S. S., & Nguyen, D. D. (2024). Toxic metals in rice among Asian countries: A review of occurrence and potential human health risks. *Food Chemistry*, 460, 140479. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140479>
- Rasydy, L. O. A., Sylvia, D., & Zein, Z. A. (2021). Analisis logam berat pada beras (*Oryza sativa* L.) yang ditanam di daerah industri karet Mekar Jaya. *Jurnal Farmagazine*, 8(1), 66. <https://doi.org/10.47653/farm.v8i1.535>
- Saad, A. A., Rahayu, A. S., & Dalming, T. (2024). Analisis kadar timbal (Pb) pada sediaan masker organik yang beredar di Kota Makassar dengan metode (SSA). *Jurnal Farmasi Pelamonia*, 4(2), 74–77.
- Saad, A. A., Adnan, J., & Putri, N. A. (2023). Analisis logam berat kromium (Cr) pada sediaan perona pipi (blush on) yang beredar di Pasar Butung Kota Makassar secara inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). *Jurnal Farmasi Pelamonia*, 3(1), 30–36.
- Uddin, M. M., Zakeel, M. C. M., Zavahir, J. S., Marikar, F. M. M. T., & Jahan, I. (2021). Heavy metal accumulation in rice and aquatic plants used as human food: A general review. *Toxics*, 9(12), 360. <https://doi.org/10.3390/toxics9120360>
- Wahyuningsih, N. E., Setiawan, H., Nabiha, P. I., Kartasurya, M. I., & Azam, M. (2023). Heavy metals contamination of local and imported rice in Semarang, Central Java, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 24(7), 49–60. <https://doi.org/10.12911/22998993/163308>
- Xia, W., Ghouri, F., Zhong, M., Bukhari, S. A. H., Ali, S., & Shahid, M. Q. (2024). Rice and heavy metals: A review of cadmium impact and potential remediation techniques. *Science of the Total Environment*, 957, 177403. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177403>
- Yang, L., Zhang, X., Zhao, D., Wang, P., & Zhao, F. (2023). Relative bioavailability of cadmium in rice: Assessment, modeling, and application for risk assessment. *Foods*, 12(5), 984. <https://doi.org/10.3390/foods12050984>
- Yuliani, F., Faridah, D. N., Andarwulan, N., & Średnicka-Tober, D. (2025). The concentration of potentially toxic elements (PTEs) in Indonesian rice and their health risk assessment. *Foods*, 14(21), 3652. <https://doi.org/10.3390/foods14213652>
- Zakaria, Z., Zulkafflee, N. S., Mohd Redzuan, N. A., Selamat, J., Ismail, M. R., Praveena, S. M., Tóth, G., & Abdull Razis, A. F. (2021). Understanding potential heavy metal contamination, absorption, translocation and accumulation in rice and human health risks. *Plants*, 10(6), 1070. <https://doi.org/10.3390/plants10061070>